

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-206072

(43) 公開日 平成5年(1993)8月13日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/302	B	7353-4M		
C 2 3 C 16/50		7325-4K		
C 2 3 F 4/00	C	8414-4K		
H 0 1 L 21/31	C	8518-4M		
H 0 5 H 1/46		9014-2G		

審査請求 未請求 請求項の数23(全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平4-169619

(22) 出願日 平成4年(1992)6月26日

(31) 優先権主張番号 07/722340

(32) 優先日 1991年6月27日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 07/824856

(32) 優先日 1992年1月24日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ  
イテッド

APPLIED MATERIALS, I  
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95054 サンタ クララ パウアーズ ア  
ベニュー 3050

(72) 発明者 ケニス エス コリンズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95112 サン ホセ ノース ナインティ  
ーンズ ストリート 871

(74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

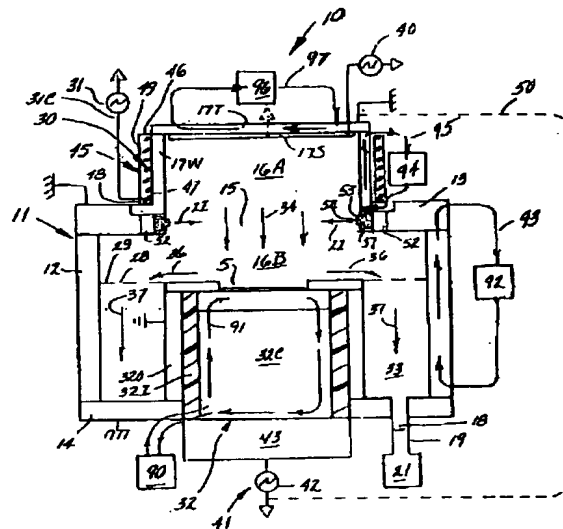
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘導RF結合を用いたプラズマ加工装置とその方法

(57) 【要約】

【目的】 損傷を与えず、マイクロローディングを用いることもなく敏感な装置を加工でき、歩留まりを上げることができる。

【構成】 ドーム型のプラズマ反応装置チャンバー11であり、反応装置のドーム内に電磁結合されたRFエネルギー (LF, MF, VHF) によって駆動されるアンテナ等の装置30を用いる。アンテナはチャンパー内に金属、誘電体、半導体をエッチングするための高密度、低エネルギーのプラズマを発生する。ウエハ5の支持カソードに印加される補助RFバイアスエネルギーがカソードシース電圧を制御し、また密度にかかわらずイオンエネルギーを制御する。エッチング処理、蒸着処理およびエッチング/蒸着組合せ処理とともにさまざまな磁気および電圧処理向上技術を開示する。



BEST AVAILABLE COPY

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 a) プラズマ源領域を含む真空チャンバ

一、

b) 被加工物をチャンパー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、

c) プロセスガスをプラズマ源領域に供給するためのチャンパー内に取り付けたガスマニホルド、

d) RFエネルギーを生成するための第1および第2のRF電源、

e) 第1のRF電源からのRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に電磁結合するプラズマ励起手段、

f) チャンパー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極、

g) 第2のRF電源からのRFエネルギーをチャンパーに容量性結合し、それによってプラズマシースに電圧を確立するためのチャンパー内に取り付けたアノード電極、および

h) チャンパーにけい素イオンを供給するためのけい素源からなることを特徴とする被加工物を加工するためのRFプラズマ加工装置。

【請求項2】 前記のカソード電極あるいは前記のアノード電極に電氣的に結合された第3の電極を含むことを特徴とする請求項1に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項3】 前記の第3の電極が前記のプラズマ源領域内に配置され、けい素含有材料からなり、前記のけい素源であることを特徴とする請求項2に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項4】 RFエネルギーをプラズマ源領域に電磁結合する手段がプラズマ源領域に隣接するRFアンテナを含むことを特徴とする請求項1に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項5】 アンテナからのRFエネルギーの電界成分のチャンパーへの直接的結合を防止し、それによってアンテナからのRFエネルギーがプラズマ源領域に誘導結合される、RFアンテナとチャンパーの間の導電性シールドを含むことを特徴とする請求項4に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項6】 プロセスガスが第2の材料の上に不動態化層を形成しながら第1の材料をエッチングすることができる成分を含み、高い値と低い値の間で交番する直流バイアス電圧をカソード電極に印加するための電圧源を含み、前記の高い値は第1の材料からなる被加工物の露出した部分がかなりの速度でエッチングされるようにする電圧であり、前記の低い値が第1の材料の前記の露出した部分をより低い速度でエッチングされるようにする電圧であり、そのとき第2の材料からなる被加工物の露

2

出した部分に不動態化層が形成されることを特徴とする請求項4に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項7】 a) プラズマ源領域を含む真空チャンパー、

b) 被加工物をチャンパー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、

c) プロセスガスをチャンパープラズマ源領域に供給するためのチャンパー内に取り付けたガスマニホルド、

d) RFエネルギーを生成するための第1および第2のRF電源、

e) 第1のRF電源からのRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に電磁結合するプラズマ励起手段、

f) チャンパー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極、および

g) 第2のRF電源からのRFエネルギーをチャンパーに容量性結合し、それによってプラズマシースに電圧を確立するためのチャンパー内に取り付けたアノード電極からなり、

h) 第1のRF電源が、被加工物中に流れる電流によって起こる前記の被加工物への損傷を防止するのに十分な程度に低く、プラズマへのRFエネルギーの効率的な結合を提供するのに十分な程度に高い周波数のRFエネルギーを生成することを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項8】 a) プラズマ源領域を含む真空チャンパー、

b) 被加工物をチャンパー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、

c) プロセスガスをプラズマ源領域に供給するためのチャンパー内に取り付けたガスマニホルド、

d) RFエネルギーを生成するための第1および第2のRF電源、

e) 第1のRF電源からのRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に電磁結合するプラズマ励起手段、

f) チャンパー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極、および

g) 第2のRF電源からのRFエネルギーをチャンパーに容量性結合し、それによってプラズマシースに電圧を確立するためのチャンパー内に取り付けたアノード電極からなり、

h) 第2のRF電源が、被加工物中に流れる電流によって起こる前記の被加工物への損傷を防止するのに十分な

3

程度に低く、エネルギー粒子の衝突によって起こる被加工物への電圧によって誘起された損傷を防止するのに十分な程度に高い周波数のRFエネルギーを生成することを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項9】 第1のRF電源が、被加工物中に流れる電流によって起こる前記の被加工物への損傷を防止するのに十分な程度に低く、プラズマへのRFエネルギーの効率的な結合を提供するのに十分な程度に高い周波数のRFエネルギーを生成することを特徴とする請求項8に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項10】 第1のRF電源の周波数が約300KHzから3MHzの範囲内であることを特徴とする請求項7あるいは請求項9に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項11】 第2のRF電源の周波数が約300KHzから3MHzの範囲内であることを特徴とする請求項8あるいは請求項9に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項12】 その一端の近傍にプラズマ源領域を有する真空チャンバー、被加工物をチャンバー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした支持構造、およびプロセスガスをチャンバー内に供給するためのガスマニホールド手段、およびRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に結合するプラズマ励起手段、チャンバー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極、および  
g) 第2のRF電源からのRFエネルギーをチャンバーに容量性結合し、それによってプラズマシースに電圧を確立するためのチャンバー内に取り付けたアノード電極からなり、からなり、前記のガスマニホールド手段が、チャンバーの前記の一端の近傍に配置した吸気口、チャンバーの前記の一端から最も遠いプラズマ源領域の境界の近傍に配置した第1のリングマニホールド、および被加工物位置を取り囲む第2のリングマニホールドからなることを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項13】 その一端の近傍にプラズマ源領域を有する真空チャンバー、被加工物をチャンバー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、プロセスガスをチャンバー内に供給するためのガスマニホールド手段、およびRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に結合するプラズマ励起手段、チャンバー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極からなるRFプラズマ加工装置であって、さらに、プラズマ源領域内あるいはその近傍に配置したチャンバー内の第1の排気口、

4

プラズマ源領域よりも被加工物位置の方により近く配置されたチャンバー内の第2の排気口、

チャンバーからのガスを第1および第2の排気口からそれぞれ第1および第2の流量で排出するように第1および第2の排気口に接続された真空ポンプからなり、第1の流量がプラズマ源領域内の非荷電粒子を第1の排気口から排出させる圧力差を確立するのに十分なだけ第2の流量より大きく、

第1の流量と第2の流量との差は、プラズマ源領域中の荷電粒子がカソード電極に向かって流れるような小さい差であることを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項14】 真空チャンバー内のカソード電極の近傍に被加工物を位置決めするステップ、

第2の材料の上に不動態化層を形成しながら第1の材料をエッチングすることのできる成分を有するプロセスガスをチャンバーに供給するステップ、

プロセスガスからプラズマを形成するようにRFエネルギーをチャンバーに結合するステップ、および高い値と低い値の間で交番する直流バイアス電圧をカソード電極に印加するステップからなり、前記の高い値は第1の材料からなる被加工物の露出した部分がかなりの速度でエッチングされるようにする電圧であり、前記の低い値が第1の材料の前記の露出した部分をより低い速度でエッチングされるようにする電圧であり、そのとき第2の材料からなる被加工物の露出した部分に不動態化層が形成されることを特徴とする被加工物の表面の選択された領域をプラズマエッチングする方法。

【請求項15】 プロセスガスがハロゲンを含み、第1の材料が酸素を含み、第2の材料が酸素を含まないことを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項16】 不動態化層が炭素とハロゲンのポリマーであることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項17】 ハロゲンがフッ素であることを特徴とする請求項15あるいは請求項16に記載の方法。

【請求項18】 その一端の近傍にプラズマ源領域を有する真空チャンバー、被加工物をチャンバー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、プロセスガスをチャンバー内に供給するためのガスマニホールド手段、およびRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に結合するプラズマ励起手段、およびチャンバー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極からなるRFプラズマ加工装置であって、さらに、

チャンバー内に磁界を生成する磁石構造からなり、前記の磁界はプラズマ源領域とカソード電極の間に位置する平面にほぼ平行でありかつこの平面に制限されており、この平面はプラズマからカソード電極への荷電粒子の流

れの方に垂直であり、それによってこの磁界がプラズマ源領域中の自由電子がこの平面を越えるのを阻止し、一方イオンがこの平面を越えてカソード電極に流れることを許容していることを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項19】 磁石構造の磁界面が、被加工物位置での有意な磁界の生成を防止するに十分なだけ非加工物位置から離されていることを特徴とする請求項18に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項20】 磁石構造が、間隔を置いた棒状の磁石の平面的配列からなり、隣合う磁石が互いに対向する反対の極性の磁極を有することを特徴とする請求項18あるいは請求項19に記載のRFプラズマ加工装置。

【請求項21】 その一端の近傍にプラズマ源領域を有する真空チャンパー、被加工物をチャンパー内の、プラズマ源領域の外側の位置に支持するようにした被加工物支持部材、プロセスガスをチャンパー内に供給するためのガスマニホールド手段、およびRFエネルギーを前記のプロセスガスからプラズマを形成するようにプラズマ源領域に結合するプラズマ励起手段、およびチャンパー内のプラズマ源領域の外側で前記の被加工物位置の近くに配置され、プラズマからの荷電粒子を引き付けカソード電極に流す電界を生成するように電力源を介してプラズマに電氣的に結合されたカソード電極からなるRFプラズマ加工装置であって、さらに、チャンパーの一部が誘電体の壁によって仕切られており、この壁にほぼ平行な磁界を壁のすぐ内側に生成する磁石構造を有し、この磁石構造が荷電粒子のこの壁への衝突を阻止することを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【請求項22】 前記の磁石構造が前記の壁を取り囲む間隔を置いた磁石の配列からなり、これらの磁石はこの壁に垂直な向きの磁極を有し、隣合う磁石の磁極は反対の極性を有し、磁石は磁界をこの壁のごく近傍に制限して磁石構造が被加工物位置に有意な磁界を生成しないように十分近接して離間されていることを特徴とする請求項21に記載の装置。

【請求項23】 真空チャンパー、RF電源、およびRF電源に電氣的に結合されRFエネルギーをチャンパー内に放射するように配置されたアンテナからなり、前記のRF電源は第1および第2の出力端子を有し、第1の端子はアンテナ上の一点に直接接続されており、第1および第2の可変コンデンサがそれぞれアンテナの第1および第2の端部と第2の電源端子の間に接続されており、それによってアンテナとRF電源の間のインピーダンス整合を、電源とアンテナの間にインダクタを接続することによって達成することができることを特徴とするRFプラズマ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はRFプラズマ処理反応装置に関し、より詳細には高周波(RF)エネルギー源と関連するRF電磁波をプラズマに誘導結合するための多コイルアンテナを用いるプラズマ反応装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

RFシステム

CVD(化学蒸着)反応システムやRIE(リアクティブイオンエッチング)反応システム等の第1の従来の半導体処理システムを考察する。これらのシステムは約10-500KHzの低周波数から約13.56-40.68MHzの高周波数までの高周波エネルギーを使用することがある。約1MHz以下ではイオンと電子は振動電界あるいはプラズマ中に発生する任意の定常状態の電界によって加速することができる。このような比較的低い周波数においては、ウエハに発生する電極シース電圧は通常1キロボルトピーク以上であり、これは200-300ボルトの損傷しきい値よりはるかに高い。数MHz以上では、電子は依然として変化する電界に追従できる。イオン量がこれより多くなると変化する電界に追従できず、定常状態の電界によって加速される。この周波数範囲(および実用的なガス圧と電力レベル)において、定常状態のシース電圧は数百ボルトから1,000ボルト以上の範囲である。

磁界増強

RFシステムのバイアス電圧を低下させるための好ましい方法として、プラズマに磁界を加える方法がある。このBフィールドは電子をウエハの表面に近い領域に閉じ込め、イオン束密度とイオン流を増大させ、したがって電圧およびイオンエネルギー条件が低減される。比較例として、二酸化けい素をエッチングするための代表的な非磁性RIE処理には13.56MHzで印加されるRFエネルギー、体積10-15リットルの非対称系、50ミリの圧力および約(8-10)対1のアノード領域/ウエハ支持カソード領域比を用い、約800ボルトのウエハ(カソード)シース電圧を発生する。60ガウスの磁界を印加するとバイアス電圧が約25-30%、800ボルトから約500-600ボルトに低下し、エッチング速度が約50%も増大する。

【0003】しかし、ウエハに平行な定常Bフィールドを印加すると、E×Bイオン/電子ドリフトとそれに関連するウエハ全体にプラズマ密度勾配が発生する。このプラズマ勾配によってウエハ上のエッチング、蒸着その他の膜特性の不均一が発生する。この不均一性はウエハの周囲で磁界を回転させることによって低減することができ、この回転は通常永久磁石の機械的運動、あるいは90°ずれた直角位相で駆動される電磁コイル対、あるいはコイル対の電流を磁界中で制御された速度で歩進あるいはその他の運動をするように瞬間的に制御すること

によって低減することができる。しかし、磁界の回転によって不均一勾配は低減されるが通常ある程度の不均一性は残る。

【0004】さらに、コイルの設置、特に二つあるいはそれ以上の対になったコイルをチャンバーに設置してコンパクトなシステムを構成することは困難であり、ヘルムホルツコイル構成もしくは共通のロードロックを取り巻く個々の磁気増強された反応装置チャンバーからなる複数チャンバーシステムを用いる場合特に困難である。

【0005】磁界の強度と方向を瞬時に選択的に変える能力を持ち、小型複数チャンバー反応装置システムに用いるように設計された独特な反応装置システムがCheng その他の名において同時譲渡された1989年6月27日付け米国特許第4,842,683号に開示されている。

#### マイクロ波/ECRシステム

マイクロ波システムおよびマイクロ波ECR（電子サイクロトロン共鳴）システムでは、800MHz以上で通常2.45GHzの周波数のマイクロ波エネルギーを用いてプラズマを励起する。この技術によって高密度のプラズマが発生するが、粒子エネルギーは二酸化けい素の反応イオンエッチング等の多くの処理に対する最小反応しきい値エネルギーより低い場合がある。これを補償するために、エネルギー増強用の低周波電力がウエハ支持電極に結合され、またウエハを通してプラズマに結合される。このようにして、ウエハの損傷の可能性は従来のシステムに比べて小さくなる。

【0006】エッチングあるいはCVDといった半導体ウエハ処理のための実用的な電力レベルで動作するマイクロ波システムおよびマイクロ波ECRには電力送出用の大型導波管、高価な同調器、方向性結合器、サーキュレータ、および動作用のダミー負荷を必要とする。さらに、2.45GHzの商用周波数で運転されるマイクロ波ECRシステムのECR条件を満足するために、875ガウスの磁界が必要となり、これには電磁石、電力および冷却仕様も大きくする必要がある。

【0007】マイクロ波システムおよびマイクロ波ECRシステムの拡大・縮小は容易ではない。ハードウェアは2.45GHzについて利用可能である。それはこの周波数がマイクロ波オープンに用いられるためである。915MHzのシステムも利用可能であるがコストが高くなる。他の周波数用のハードウェアは容易にあるいは経済的に入手することができない。その結果、5-6インチのマイクロ波システムを拡大してより大きな半導体ウエハを処理しようとする場合、より上位の動作モードが必要である。このより上位のモードでの動作による一定周波数における規模拡大にはより上位のあるいはより下位の負荷へのいわゆるモードフリップングとその結果発生する工程の変化を防止するための非常に厳格な工程管理が必要となる。あるいは、たとえば5-6インチのマイクロ波空洞については発散磁界を用いてプラズマ束をよ

り広い範囲に拡散させることによってこの規模の拡大を達成することができる。この方法によれば有効電力密度したがってプラズマ密度が低下する。

#### RF伝送線システム

前述したように、発明者Collinsその他の名で1990年7月31日同時譲渡された『VHF/UHF反応装置システム』と題する親米国特許出願559,947号（AMATファイル151-1）をここでは参照している。この出願では反応装置チャンバー自体の一部が整合ネットワークからチャンバーに高周波プラズマ発生エネルギーを印加するための伝送線構造として構成された高周波VHF/UHF反応装置システムを開示している。この独特の一体型伝送線構造は、整合ネットワークと負荷との間の非常に短い伝送線要求を満たし、50MHzから800MHzの比較的高い周波数の仕様を可能にする。これはプラズマ電極へのRFプラズマ発生エネルギーの効率的で制御可能な印加を可能にし、比較的低いイオンエネルギーと低いシース電圧で商業的に許容できるエッチング速度および蒸着速度を発生させる。この比較的低い電圧によって電氣的に敏感な小さな寸法形状の半導体装置への損傷の可能性が低下する。このVHF/UHFシステムは上述した拡大・縮小の可能性や電力上の制約といった従来の技術における他の種々の問題点を防止する。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】高密度集積化の趨勢は、電氣的に敏感で約200-300ボルト程度の小さなウエハシース電圧にさらされるときエネルギー粒子衝撃のために損傷を受けやすい非常に小さな寸法形状の部品や装置をもたらした。残念ながら、かかる電圧は回路部品が標準的な集積回路製造工程中に経験する電圧より小さい。

【0009】先端装置用に製造されるMOS型コンデンサおよびトランジスタは非常に薄い（厚さ200オングストローム以下）のゲート酸化物を有する。これらの装置は充電によって損傷することがあり、それによってゲート破壊が発生する。これは表面電荷の中性化が起こらないときに、プラズマ電位あるいはプラズマ密度の不均一によって、あるいは大きなRF変位電流によってプラズマ処理中に発生することがある。中間接続線等の導体もまた同じ理由で損傷を受ける場合がある。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】従来技術の問題点を解決する本発明は、プラズマ源領域と処理領域を有する真空チャンバー、RF電極エネルギーを処理チャンバー内に誘導結合する手段であり、チャンバー内にたとえばこの結合手段にあるいは結合手段の下流に位置する半導体ウエハ等の物品を製作するための結合手段、処理領域中のRFカソード、チャンバーの壁によって形成されるアノード、およびプラズマ処理を増強するための電氣的に浮動する、あるいは接地された、あるいはRFバイアスに

接続されたプラズマ源領域電極からなるRFプラズマ処理システムの構造と動作に実施される。プラズマ源領域電極もしくはプラズマ源領域を形成するチャンバーの壁の構造には酸化物エッチング等の処理を増強するためのけい素を含めることができる。

【0011】好適には、100KHz から100MHz の範囲内のLF/VHF（低周波数から非常に高い周波数まで）RF電力が用いられる。より好適には、100KHz から10MHz の範囲内のLF/HF電力が用いられる。最も好適には、300KHz から3MHz の範囲内のMF（中周波）電力が用いられる。好適には、結合手段はコイルをほどこいた電気長が $\lambda/4$ より小さい多重巻円筒状コイルアンテナであり、 $\lambda$ はプラズマ動作中にコイルアンテナに印加される高周波RF励起エネルギーの波長である。

【0012】また、この発明はアンテナを共振に同調するためのアンテナに接続された手段、およびプラズマ源の入ラインピーダンスをアンテナのためのRFエネルギーを供給する手段の出力ラインピーダンスに整合させるためのアンテナに接続された負荷手段を含む。この同調手段はアンテナの一端とRFアースの間に電氣的に接続された可変キャパシタンスとすることができる。RFエネルギーはコイルアンテナ上の選択された位置にタップを介して印加することができる。

【0013】このシステムはまたプラズマ源領域を形成する誘電体ドームあるいは誘電体シリンダーを含む。コイルアンテナが高周波電磁エネルギーをチャンパー内に誘導結合するためにドームを取り巻くことが好適である。製作される物品はプラズマ源領域あるいはドーム内に、アンテナの巻線あるいは最下部の巻線の内部にあるいは近接して、あるいは好適にはアンテナの下流に配置することができる。

【0014】また、この発明はドームの上部のガス取入口、ドームのプラズマ源領域の基部の第1のリングマニホルド、およびウエハ支持電極を取り巻く、チャンパーに処理用の希釈剤、パッシベーション、その他のガスを選択的に供給するための第2のリングマニホルドからなるチャンパーにガスを供給する手段を含む。またさらに、交流電源および制御システムが、通常プラズマ源コイル電力と同じかそれに近い周波数である交流バイアス電力をウエハ支持カソードに結合し、それによってプラズマ源高周波電力によって行われるプラズマ密度制御から独立してカソードシース電圧とイオンエネルギーの制御を行う。このシステムは多数の目的を果たすように選択されたバイアス周波数を提供する。まず、周波数の上限は“電流に誘起される”損傷（周波数が高すぎる場合敏感な装置にチャージアップ損傷が発生することがある）を防止するように選択される。周波数の下限は部分的には“電圧に誘起される”損傷を排除するように選択される。バイアス周波数が低いほど単位バイアス電力あ

たりのウエハシース電圧（基板の加熱を除く）は高くなり、プラズマ密度に対する貢献は小さく、したがってイオン密度とイオンエネルギーの独立的制御が向上する。しかし、バイアス周波数が低すぎるとイオンがウエハシース電界のRF成分に追従し、それによってイオンエネルギーが変化する。その結果、ピーク/平均エネルギー率が高くなり、イオンエネルギー分布が広がる（2ピーク）。バイアス周波数が非常に低いと、絶縁体のチャージアップが発生し、バイアス周波数期間の一部においてイオン誘起処理を不能とする。上記の注意事項を満足する好適な周波数範囲はプラズマ源周波数範囲に対応する。すなわち、好適には100KHz から100MHz の範囲内のLF/VHF（低周波数から非常に高い周波数まで）電力が用いられる。より好適には、100KHz から10MHz の範囲内のLF/HF電力が用いられる。最も好適には、300KHz から3MHz の範囲内のMF（中周波）電力が用いられる。

【0015】この発明はさらに直流バイアス電圧を選択された低い値と高い値の間の周期的なパルスにして、ウエハ上の第1の選択された材料の上に不動態化被覆を形成する制御手段を含み、その材料のエッチング速度を比較的低くし、また第2の選択された材料を比較的高い速度と選択度で選択的にエッチングするようにしている。

【0016】また、チャンパーはチャンパー本体に接続された第1の真空ポンプ手段とドームに接続された第2の真空ポンプ手段によって空にされ、ドーム外への中性粒子の流れを確立するためのドーム内の垂直方向の圧力差を確立するようにしており、ウエハ支持電極の電圧は帯電した粒子がチャンパー本体に向かって流れるようにこの圧力差を克服するに十分なものとなっている。

【0017】また、この発明にはコイルアンテナまたはその他の結合手段とチャンパーとの間に介装され、高周波電磁エネルギーの電界成分のチャンパーへの結合を防止する異なる構成の導電性ファラデーシールドが含まれる。また、コイルあるいは他の結合手段を取り囲むように配置された高周波反射器によって、高周波エネルギーの放射をチャンパー内に集中する。

【0018】磁気の増強は周辺の永久磁石あるいは電磁石構成によって与えられ、これらは均一な発散する磁性ミラー構成から選択されたアンテナの軸に平行な制御された静磁界を加え、ウエハの下流のプラズマの位置と移動を制御する。また、磁石をプラズマ源もしくはチャンパーの周囲に取り付けてウエハの近傍でチャンパーに多極カスプ磁界を加えて、これによってプラズマをウエハ領域に閉じ込めると同時にウエハの磁界を大幅に排除することができる。さらに、磁気分路をウエハとウエハ支持電極の周囲に配置して、ウエハ支持電極からの磁界の方向転換することができる。

【0019】このシステム構成は、動作周波数を選択することによって低モード動作を維持しながらその大きさ

を拡大・縮小することを可能とする。処理上の他の側面としては、この発明はプラズマ源領域と処理領域を有する真空チャンバーを提供するステップ、物品を処理領域中の電極上に支持するステップ、チャンバーに処理用のガスを供給するステップ、電気長が $\lambda/4$ より小さい一つ以上の巻線の円筒状コイルアンテナを用い（ $\lambda$ はアンテナに加えられるRFエネルギーの波長）、RFエネルギーをプラズマ源領域に誘導結合して前期の物品の上に一つあるいはそれ以上の材料を製作するためのプラズマを発生させるステップ、および支持電極を介してRFエネルギーをチャンバーに容量性結合して支持電極のシース電圧を制御するステップからなるプラズマ発生処理に実施される。

【0020】また、この方法は共振に対するアンテナの自動的反復的同調とその入力インピーダンスのアンテナに対するRFエネルギー供給源のインピーダンスへのローディングを含む。また、このプラズマ発生処理はプラズマ源領域と処理領域および壁、処理領域中の電極およびプラズマ源領域中の電極を有する真空チャンバーを提供するステップ、処理領域中の電極、チャンバーの壁およびプラズマ源電極を電氣的に接続するステップ（処理領域電極がカソード、壁がアノード、そしてプラズマ源電極の電氣的接続はアース、浮動およびRFあるいは直流バイアスから選択される）、物品を処理領域中の電極上に支持するステップ、チャンバーに処理用のガスを供給するステップ、電気長が $\lambda/4$ より小さい一つ以上の巻線の円筒状コイルアンテナを用い（ $\lambda$ はアンテナに加えられるRFエネルギーの波長）、RFエネルギーをプラズマ源領域に誘導結合して前期の物品の上に一つあるいはそれ以上の材料を製作するためのプラズマを発生させるステップ、および支持電極を介してRFエネルギーをチャンバーに容量性結合して支持電極のシース電圧を制御するステップからなる。

【0021】プラズマ源電極とプラズマ源領域中のチャンバーの壁のうち少なくとも一方はけい素あるいはけい素を含むものとしてすることができ、プラズマ源電極はけい素をプラズマ中に解放して処理を向上させるためにRFバイアスすることができる。また、電極に供給されるアンテナ電力とバイアス電力は異方性、半異方性および等方性エッチングを選択的に行うように制御される。

【0022】この方法には、けい素中での二酸化けい素のエッチング、けい素増強の使用、もしくは選択度とエッチングプロファイルの向上のためのCOやCO<sub>2</sub>等の添加物の使用が含まれる。この方法では、バイアス電圧を、けい素上にエッチング抑制層を形成するための選択された低い値、および酸化けい素をけい素に対して速い速度でエッチングするための高い値に周期的に駆動する。

【0023】また、この方法には、酸化けい素のスパッタ蒸着および、まず酸化けい素を蒸着するために比較的

低いレベルのRF電力を支持電極に印加するステップ、第2に酸化けい素を蒸着し平面化する網スパッタファセット用の支持電極に比較的高いレベルのRF電力を印加するステップが含まれる。方法の具体的な側面は、ポリシリコン（多結晶けい素）の上に形成された酸化物中の接触穴のエッチングとアルミニウム上に形成された酸化物中の穴を介したエッチング、酸化けい素とポリシリコンのいわゆる“軽い”エッチング、高速の等方性および異方性酸化物エッチング、ゲート等のポリシリコン導体のエッチング、フォトレジストの除去、単結晶けい素の異方性エッチング、異方性フォトレジストエッチング、窒素と酸窒素の低圧プラズマ蒸着、酸化物、酸窒素および窒素の高圧等方性コンフォーマル蒸着、アルミニウムおよびチタン等の金属とその化合物および合金のエッチング、およびスパッタファセットの平面化を伴う局部的・全体的蒸着といった酸化物のエッチングを含むが、酸化物のエッチングには限定されない。

【0024】

【実施例】

#### 1. 概要

図1-図3は半導体ウエハ5を加工するための、誘導プラズマ源装置、磁気増強したプラズマ源装置、容量性結合されたバイアス装置、および本発明の他の側面を用いるプラズマ反応装置チャンバーシステム10の概略断面図である。この三つの図はこのシステムの好適な特徴とその他の特徴を示す。図面スペースの制約から三つの図面を用いる。この例示したチャンバーは一体型伝送線構造を有する同時係属中の一部継続出願中の願書に図示したものの変態様である。この発明の重要な特徴はプラズマ反応装置チャンバーに広く適用することができる。さらに、当該技術に精通する者には、また以下の説明から、反応装置システムの性能を向上させるこの発明のさまざまな特徴は個別に利用することもでき、また選択的にシステムから省くこともできる。たとえば、誘導プラズマ源装置と容量性結合されたバイアス源によって提供される加工条件によって磁気増強が不要となることが多い。

【0025】例示するシステム10は側壁12、頂壁13、底壁14を有する陽極処理したアルミニウムその他の適当な材料で形成した真空チャンバーハウジング11を含む。陽極処理したアルミニウムはアークとスパッタリングを抑制するため好適である。しかし、この加工に適したポリマー、石英、あるいはセラミックのライナーの付いたあるいはそれが付いていない裸のアルミニウム等の他の材料を用いることもできる。頂壁13は壁12-12の間に形成された下部チャンバーウエハ加工部16Bとドーム17によって形成された上部チャンバープラズマ源部16Aの間の中央開口部15を有する。このドームは好適には石英やその他のアルミナやアルファアルミナ（サファイア）等のいくつかの誘電体材料のよう

な誘電体材料によって形成される反転した単一壁あるいは二重壁のカップとして構成することができる。図1に示す実施例では、ドーム17は石英等の誘電体の円筒状の壁17Wと通常アルミニウムあるいは陽極処理したアルミニウム製のカバーあるいは頂壁17Tからなる。選択度の高い酸化エッチングといった目的のためには、けい素の、あるいはけい素を含有する頂壁手段およびけい素で覆ったドームの側壁が好適である。

【0026】図1に示すように、チャンパーハウジング11（チャンパー16）の内部の減圧排気は、底壁14に接続された一つあるいはそれ以上の真空ポンプからなる真空ポンプシステム21につながった真空線19中の絞り弁18（流量と無関係に圧力を調整する）によって制御される。10節に説明するように、チャンパーの壁とドームを含むチャンパー構成要素は加工性能のために加熱もしくは冷却することができる。たとえば、ドームは液体あるいはガスの伝熱媒体によって加熱あるいは冷却することができ、あるいは加熱要素を用いて直接ドームを加熱することができる。

【0027】2節に示した図2に図示するように、プロセスガス、パージガス、希釈剤その他は、プラズマ源（ドーム）の基部、プラズマ源の頂部プレート17T、およびウエハの周辺にそれぞれ配置された三つのマニホルド注入源G1、G2およびG3によってチャンパーに供給することができる。これらのガスはたとえば一つあるいはそれ以上の加圧ガス源からコンピュータ制御された流れ制御装置（図示せず）を介してチャンパー11に供給される。主吸気マニホルドG1においては、ガスは頂壁13の内部に取り付けたあるいは頂壁13と一体の石英リングガスマニホルド51を介して、22に示すように内部真空加工チャンパー16に入る。マニホルド23は好適にはRFエネルギーの印加後にエッチングもしくは蒸着プラズマを発生させるためにチャンパー部16B、16Aに対してわずかに上向きの角度でエッチングガスもしくは蒸着ガスを供給する。ドーム17の頂部プレート17T中の頂部マニホルド装置G2は反応性ガスあるいはその他のガスをチャンパー16に取り入れるのに用いることができる。また、ウエハの周辺に反応性ガスおよびその他のガスを供給するマニホルド装置63を設けることもできる。RFエネルギーはRF供給および整合ネットワーク31によって給電される少なくとも1回巻のアンテナ30あるいはコイルからなるプレート源によってドームに供給される。アンテナ30は好適には複数回巻の円筒状構成を有する。コイル30はある一定の周波数およびプラズマ源（コイル）径に対する最小導体電気長を規定し、好適には動作周波数において $1/4$ 波長（ $<\lambda/4$ ）以下の電気長を有する。アンテナ30自体は共振器ではないが、ファラデーの誘導結合の法則によってプラズマ源との有効な誘導結合を行うために5節に説明するように共振に同調される。

【0028】好適には、チャンパープラズマ源部16Aからのガスの流れはウエハ5に向かって下向きに流れ、次にウエハから径方向に外向きに引き出される。この目的のために、カソード伝送線構造32の周り、一方の側のチャンパー壁12と他方の側の外側伝送線導体320の間および底部のチャンパー底壁14と頂部の導電性ポンピングスクリーン29の間の環状の真空マニホルド33を形成することができる。マニホルドスクリーン29は真空マニホルド33とウエハ加工チャンパー16Bの間に介装され、チャンパー壁12と伝送線構造32の外側導体320の間に導電路を提供する。マニホルド33はウエハ5の周辺からの排出ガスの均一な径方向の引き出しを行うための環状のポンピングチャンネルを形成する。排出マニホルド33は排出ガスシステム線19に連通している。ガスの流れはマニホルドG1からの通路22に沿ってドーム/プラズマ源に向かうもしくはマニホルドG3からの通路26に沿ってウエハ5に向かって径方向に内向きに流れる。全体的なガスの流れは通路34に沿って上部チャンパープラズマ源部16Aからウエハ5に、通路3に沿ってウエハからスクリーン29を通過して排気マニホルド33、そして通路37に沿って排気マニホルド33から排気システム21に向かう。導電性マニホルドスクリーン29とカソード伝送線構造はオプションであることに注意しなければならない。通常、対象となる周波数の低い側では波長が非常に長く、したがって伝送線構造は不要である。

【0029】これは従来のRFシステムの構成とは対照的であり、RF電力は二つの電極、通常その上面がウエハ5を支持するウエハ支持電極32Cと反応装置チャンパーの側壁12、頂壁13もしくはマニホルド23である第2の電極との間に印加される。すなわち、アンテナ30はドーム17とプラズマチャンパー16Aの外側のそれらに隣接する位置に配置され、RF電磁（em）エネルギーをプラズマ源チャンパー16Aに結合してプロセスガスに電界を誘起するようになっている。ファラデーの誘導結合の法則から、emエネルギーの変化するB（磁気）成分はプロセスガスを付勢してチャンパー16内に比較的密度が高くエネルギーイオンが低いという特徴を有するプラズマを形成する（参照符号16はチャンパー16A、16Bおよびプラズマを集合的に指す。）。このプラズマはドーム17中でコイルアンテナ30内に形成された小さな容積に集中されて発生する。イオン、電子、遊離基および励起中性物等を含む活性種が拡散とここに説明するガス流によるバルクフローによってウエハに向かって下流に移動する。また、7節に説明するように、適当な磁界を用いて次に説明するようにウエハに向かうイオンや電子を抽出することができる。これはオプションであるが、プラズマ源42とバイアス整合ネットワーク43からなる図1のバイアスエネルギー入力装置41はRFエネルギーをウエハ支持電極32



Cに結合して、ウエハのプラズマシース電圧を選択的に増大させそれによってウエハのイオンエネルギーを選択的に増大させるのが好適である。

【0030】基本的には底部の開放した箱である反射器45はアンテナをその頂部と側面部において囲んでいるが、アンテナの底部は囲まない。この反射器はRFエネルギーの自由空間への放射を防止し、それによってプラズマ中の電力の放射や散逸を集中して効率を高めている。7節に詳細に説明するように、図3のファラデーシールド45はアンテナ30の内部、上および下に配置することができ、磁界がプラズマに結合するのを可能にするが直接電界結合を不能にしている。直接電界結合はプラズマに傾斜や不均一を誘起する恐れがある。あるいは荷電粒子を高エネルギーに加速する恐れがある。8節に説明するように、ウエハ5におけるプラズマ密度の向上、ウエハへのイオンの搬送、あるいはプラズマの均一性の向上のために、オプションとして図2の一つあるいはそれ以上の電磁石47-47、あるいは永久磁石をチャンパーの囲い11に近接して取り付けることができる。

【0031】4節に詳細に説明するように、この発明には通常マイクロ波あるいはマイクロ波ECR周波数よりはるかに低い周波数の誘導結合された電磁エネルギーの磁力成分を用いて、潜在的に損傷を与える恐れのある高出力RFエネルギーをウエハ5に結合することなく高密度かつ比較的低エネルギーという特徴を持つプラズマを生成するために真空チャンパー内に円形の電界を誘起する。図示する好適な下流プラズマ源構成では、RFエネルギーはウエハから離れて高プラズマ密度で完全に吸収され、波がウエハに伝搬せずしたがって損傷の可能性を最小限にするようにしている。RFバイアスエネルギーは必要に応じてウエハシース電圧、したがってイオンエネルギーを増大させるために選択的に印加される。

【0032】チャンパー11は総チャンパー圧約0.1mtから約50トル、通常エッチングには0.1mtから200mtを用いて半導体ウエハの加工（蒸着およびエッチング）を行うことができる。このチャンパーは5ミリトルより低い圧力で動作することができ、実際に2ミリトルで正常に動作した。しかし、ある種の加工には、ポンピング速度と流量が増大するという点で高い圧力が好適である。たとえば、酸化物エッチングには約5mt（ミリトル）から約50mtの圧力範囲が好適である。このような比較的高い圧力では、プラズマ源とウエハの間隔を小さくしなければならぬ。この発明のチャンパーはウエハ5とアンテナ30の最下部の巻の間隔と約5cm/2in.と非常に適切な小さい間隔dにしたとき、敏感な装置に対するチャージアップ損傷を生じることなく良好に動作した。したがって、このような非常に小さい間隔にすることの利点、すなわちエッチング速度と選択度の向上、ある一定のエッチング速度に対するバイアス電圧お

よびイオンエネルギー条件の低減、およびウエハ上のエネルギーの均一性の向上が達成される。たとえば、ウエハ5とソースアンテナ30の間隔dを10cm/in.（これ自体小さい間隔である）から5cm/2inに縮小すると、必要電圧は半分になり均一性は約2.5%から約1%に上がった。

## 2. 多重ガス注入

前述したように、このチャンパーには反応性ガス、パージガス、その他を異なる場所に注入してそれぞれの加工（エッチング、蒸着その他）の条件とその加工に用いられる材料に応じて加工を向上させるための複数のガス注入源G1、G2、G3（図2）が内蔵されている。まず、チャンパーはプラズマ源領域16Bの基部/底部の周囲に標準の径方向ガス分配システムG1を有する。好適な構成では、G1注入システムはプラズマ源の底部の石英ガス分配リング51とこのリングにガスを供給する分配チャンネルを形成する周辺環状マニホルド52からなる。このリングは内側を向いた径方向の穴53-53を有し、好適には中空陰極放電を防止するため前記の穴に挿入される階段状の焼結セラミック多孔性ガス拡散プラグ54-54を有する。

【0033】第2のガス注入装置G2は多孔性セラミック拡散ディスク57を詰めた中央吸気穴56を有する陽極処理したアルミニウム等の材料でできた接地された、あるいは浮動する、あるいはバイアスされたドーム頂部プレート17Tからなる。第3のガス注入源G3はウエハ5の周辺に取り付けたリング状吸気マニホルド58（あるいはウエハを支持受台に保持するのに用いられるクランプリング（図示せず）に内蔵されたガス取入口）からなる。

例：ポリマー増強された選択度を用いたポリシリコン上の酸化けい素エッチング

上記の通り、エッチャントおよび蒸着ガス、不動態化ガス、希釈ガスその他から選択されたさまざまな種類のガスをG1からG3までの一つあるいはそれ以上の供給源からチャンパーに供給して特定のエッチング・蒸着処理および材料の必要条件を満足することができる。たとえば、この誘導ソースアンテナ30は非常に高い密度のプラズマを提供し、チャンパーのドームプラズマ源領域16A中のガスの解離に非常に有効である。したがって、ポリマーを形成する種類のガスがG1あるいはG2を介してドームに供給されると、解離度の高いガスがポリシリコンのコーティングを犠牲にしてドームの内部をコーティングすることができる。あるいはこのガスの解離度が非常に高く保護コーティングを行うべきポリシリコン表面に付着しない場合もある。この解決法として、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>あるいはCF<sub>4</sub>といったエッチャントをG1あるいはG2を介して、あるいはG1とG2を介してプラズマ源領域16Aに取り入れ、CH<sub>3</sub>FあるいはCHF<sub>3</sub>といったポリマーを形成するガスを吸気口G3から供給して破壊的な解離

を生じることなくポリシリコン上に選択的にポリマーを形成する方法がある。

例：けい素含有ガスの化学作用を用いたポリシリコン上の酸化けい素エッチング

ソース領域のガスの解離度が高いため、ふっ素含有ガス（ふっ素が炭素と結合したものも含む）は通常、けい素をエッチングし、したがって酸化物に対するエッチング選択度を低下させる遊離ふっ素を生成する。高い選択度が要求されるときは、けい素含有添加ガスを注入してこの遊離ふっ素の活動を止めてけい素エッチングを少なくする。エッチャントガスとけい素含有添加ガスはG1とG2を介して別々に導入することができる。あるいは、G1もしくはG2を介して混合物として導入することができる。適切なふっ素消費けい素含有添加ガスとしては、シラン（SiH<sub>4</sub>）、TEOS、ジエチルシランおよび四ふっ化けい素（SiF<sub>4</sub>）等がある。

【0034】ふっ素消費ガスとポリマー形成添加ガスを同じ処理に用いてエッチングの選択度を向上させることができる。

例：酸化けい素蒸着

蒸着速度は酸素含有ガスおよびO<sub>2</sub>やAr<sub>2</sub>等の希釈剤をG1もしくはG2を介して供給することによって、またSiH<sub>4</sub>等のけい素含有ガスをG3を介して供給することによって向上させることができる。

### 3. 差動ポンピング

図2は代替の真空ポンピング構成を示す。チャンパーの底部、あるいはその近傍に接続される真空ポンピングシステム21に加えて、真空ポンプ39が線38を介してドーム17内のプラズマ源領域16Aに接続される。ポンピングシステム39および21の流量は、それらがプラズマ源領域16Bに垂直方向に圧力差ΔP<sub>0</sub>を発生させるように選択される。この圧力差ΔP<sub>0</sub>は（1）プラズマ源16Aからウエハ5への非荷電粒子の移動を防止し、また（2）バイアス電圧によって電子やイオンといった荷電粒子に加えられる力F<sub>0</sub>より小さい。ΔP<sub>0</sub>のために、基のような非荷電粒子はウエハ5に到着せず、むしろ主として頂部真空接続部38から流出する。F<sub>0</sub>>ΔP<sub>0</sub>であることから荷電電子および荷電イオンは主として加工領域に流れる。この方法はイオンではなく基を選択的にウエハ加工領域外に置きたいとき有効であることは明らかである。この状況はたとえば、（1）ポリマー形成ガスの化学作用を用いるが、ポリマーがプラズマ源領域で形成されチャンパーの側壁に付着する、もしくは所望のウエハ面に良好に付着しない場合、もしくは（2）プラズマ源領域にふっ素基が形成される場合に起こる。

### 4. RF電力、上部およびバイアスプラズマ源

#### 1) 上部あるいはアンテナプラズマ源

図1において、好適には上部プラズマ源30のRF電源31の動作周波数は密度の高いプラズマを発生して敏感

な装置への損傷を最小限とし、RF電力のプラズマへの効率的な誘導結合を提供するように選択される。すなわち、この動作範囲の上の周波数は“電流によって誘起される”損傷を最小限にするように制限される。動作周波数の下限はプラズマへのRF電力結合の効率が上がるように選択される。好適には、約100KHzから約100MHzまでの範囲内のLF/VHF（低周波数から非常に高い周波数まで）交流電力が用いられる。より好適には、約100KHzから約10MHzまでの範囲内のLF/HF（低周波数から高周波数まで）電力が用いられる。最も好適には、約300KHzから約3MHzまでの範囲内のMF（中波）電力が用いられる。

#### 2) 下部あるいはバイアスプラズマ源

ウエハ支持カソード32Cの交流電源42はRF電力をプラズマに誘導結合して、それによって高周波電力によって行われるプラズマ密度制御から独立して制御されるカソードシース電圧およびイオンエネルギー等を含むさまざまな要素の制御を行う。バイアス周波数は多くの目的を達成するように選択される。まず、周波数の上限は敏感な装置への電流によって誘起されるチャージアップ損傷を防止するように選択される。低い周波数が部分的には電圧によって誘起される損傷を排除するために選択される。また周波数バイアスが低ければ、基板の単位バイアス電圧あたりのウエハシース電圧（加熱を除く）は高くなり、プラズマ密度への貢献は少なく、したがってイオン密度とイオンエネルギーの独立的制御が向上する。しかし、バイアス周波数が低すぎると、イオンがウエハシース電界のRF成分に追従し、それによってイオンエネルギーが変調される。その結果、ピーク/平均エネルギー比が高くなり、また（ピーク間）イオンエネルギー分布が広がる。バイアス周波数が非常に低いと、絶縁チャージアップが発生し、バイアス周波数制御の一部においてイオンによって誘起される処理を不能にする。

【0035】本出願人は以上の注意事項が、プラズマ源周波数範囲に対応するバイアス周波数範囲を用いることによって満足されることを発見した。すなわち、好適にはバイアス電力は約100KHzから100MHz（LF/VHF周波数）の範囲内である。より好適にはバイアス電力の周波数は約100KHzから10MHz（LF/HF周波数）の範囲内である。最も好適にはバイアス電力の周波数は約300KHzから3MHz（MF周波数）の範囲内である。

#### 3) 上部プラズマ源とバイアスプラズマ源の連結動作

この発明の好適な特徴は電源42によって供給される下部あるいはバイアス電力を自動的に変更して一定のカソード（ウエハ）シース電圧を維持することである。非対象性の高いシステムにおいては低圧（<500mT）では、カソード32Cで測定される直流バイアスはカソードシース電圧の近似値である。下部電力は一定の直流バ

イアスを維持するために自動的に変更することができる。下部あるいはバイアス電力のプラズマ密度とイオン流密度に対する影響は非常に小さい。上部あるいはアンテナ電力はプラズマ密度と電流密度に非常に大きく影響するが、カソードシース電圧に対する影響は非常に小さい。したがって、プラズマ密度とイオン流密度を規定するには上部電力を用い、カソードシース電圧を規定するには下部電力を用いるのが望ましい。

【0036】それにもかかわらずアンテナ30を駆動するプラズマ源31の高周波はマイクロ波あるいはマイクロ波ECRアプリケーションに用いられる周波数よりはるかに低いため、より安価な電源によってより低い直流電流で作動されるオプションのより小さい磁石を用いることもできる。この場合関連する熱負荷も小さくなる。さらに、以上の説明から明らかなように、導波管の代わりに31C等の同軸ケーブルを用いることができる。さらに、他の磁気増強されたあるいは磁気補助されたシステム中のE×B電子ドリフトによって引き起こされたプラズマの不均一はここには存在しない。これは、印加される磁界（アンテナ30を介して引火されるHFフィールドの磁気成分と磁石81によって印加される任意の静磁界の両方）はカソードの電界とほぼ平行である。したがってこのシステムにはE×Bドリフトはない。

【0037】透磁率の高い材料で形成した磁気分路を用いてプラズマ源（上部チャンパー16A）にBフィールドを発生させウエハには発生させない。またオプションとして、永久磁石あるいは電磁石を、下部チャンパー16Bの周囲の通常N-S-N-S…N-Sという交互の磁極構成の多極配列に置いてプラズマ源もしくはチャンパー壁に多カスプ磁気ミラーを生成することができる。磁石は垂直の棒磁石あるいは好適にはたとえば水平なリング磁石とすることができる。かかる磁石は壁への電子損失を低減し、それによってウエハを磁界にさらすことなくプラズマ密度とプラズマの均一性を向上させるのに用いることができる。

#### 4) RF電源の結合と同期

上述したように、上部あるいはアンテナRF電源の動作の好適な周波数と下部あるいはバイアスRF電源の動作の好適な周波数は好都合なことに同じ範囲に入っている。ここで選択することのできる構成として、これらの二つのRF電源を別々に使用する代わりに一つの電源源に結合する方法がある。より一般的に言えば、三つのRF信号（第3あるいは上部電極へのRFバイアスを含む）のすべてを一つの電源から供給する、あるいはアンテナと下部バイアスに一つの電源を用い、第3電極に第2のプラズマ源を用いる、あるいは三つの別々の電源を用いるといった可能性がある。別々の電源が用いられる場合、考慮しなければならないことは別々のRF信号の周波数は等しくなければならないか、等しくなければならないとすればこれらの信号をなんらかの所望の位相関

係にロックしなければならないかどうかということである。予備的な研究からこれらの質問に対する答は主に選択された動作周波数によることがわかっている。二つあるいは三つのRF電源に対して一つの周波数を選択できる場合、またその周波数がこのシステムが用いられる別の加工について変更される可能性がない場合、単一のRFソースが論理的選択ということになる。上のサブパラグラフ1-3に論じた考察に基づいて、これらのプラズマ源に対して異なる周波数が必要である場合、あるいは異なる加工に用いるために周波数を変更しなければならない場合、別々のRF電源が必要になる。別々の電源源があり、同じ周波数が選択される場合、位相同期が問題になる。たとえば、プラズマ源はアンテナへのRF電圧入力と下部あるいはウエハ電極へのRF電圧入力の間有位相角が加工の繰り返し精度を最適化するために選択された一定の値に維持されるように同期することができる。約10MHz以上といった高い周波数では、動作は位相あるいは周波数の同期とは無関係と見られる。

#### 5. アンテナの同調と負荷

##### 1) 同調

通常、アンテナ30は（1）発電器31の周波数をアンテナと共振するように変化させることによって、あるいは（2）共振に同調するためにアンテナに接続された別の共振要素によって共振に同調される。たとえば、この同調要素は可変のインダクタンスーアース、あるいは可変のキャパシタンスーアースとすることができる。

【0038】誘導同調および容量性同調は共振周波数を低下させることに注意しなければならない。したがってこのシステムを望ましい最も高い共振周波数となるように構成してキャパシタンスあるいはインダクタンス同調変数を用いるさいに共振周波数の低下に対処することが望ましい。自動同調は好適であり、インピーダンス位相/振幅検出器を用いて同調/負荷変数を駆動することによって実行することができる。図6と9節を参照。また、反射電力ブリッジあるいはVSWRブリッジを用いて同調変数と負荷変数の両方を駆動することができるが、反復が必要である。

##### 2) ローディング

導電性、容量性、あるいは誘導性負荷手段Lを用いてプラズマ源アンテナ30をRF発電器31と接続用同軸ケーブル31Cのインピーダンスに一致させることができる。たとえば、タップあるいはワイパを50オームあるいは300オーム近辺あるいはアンテナ上の他の発電器出力インピーダンス位置にオーミックに接触させることができる。また、可変インダクタンスあるいは可変キャパシタンスをアンテナ上の発電器出力インピーダンス点50に接続することもできる。

##### 3) 同調回路と負荷回路

図4および図9において、好適にはプラズマ源アンテナ30と一体でプラズマ源を共振に紅潮させる同調手段T

が設けられる。また、一体負荷手段Lがプラズマ源アンテナ30の入力インピーダンスを関連の発電器31（あるいは伝送線31C）の出力インピーダンスに一致させるために用いられる。図4において、ある側面においては、同調手段Tはアンテナ30の一端とRFアースの間に電氣的に接続された可変キャパシタンスである。

【0039】図5に示すように、また別の側面においては、負荷手段Lはアンテナの一端とRFアースの間に電氣的に接続された可変キャパシタンスとすることができる。また、この負荷手段はアンテナにRF入力電力を加える可変位置タップ60とすることができる。図6を参照されたい。図7に示す好適な組合せにおいて、同調手段Tはアンテナ30の一端とRFアースの間に電氣的に接続された可変キャパシタンスであり、負荷手段Lはアンテナの他端とRFアースの間に電氣的に接続された別の可変キャパシタンスである。この構成では、RF入力電力はタップを介して、すなわちアンテナに沿ってあるいはそのいずれかの端部に設けられたタップを介してアンテナに印加することができる。図8を参照されたい。また、RF電力入力接続部66を図9に示すように負荷可変キャパシタンスLとアンテナ30の端部の接続部に配置することができる。

#### 6. ソース/バイアス加工制御

また、この発明は十分に高いバイアス電圧を用いて高い二酸化けい素エッチング速度を提供し、バイアス電圧を低い値に周期的にパルス化することによって、二酸化けい素等の材料のエッチング速度が上がり、けい素等の材料と比較して二酸化けい素のエッチング選択度が増すという発見を含んでいる。

##### 1) パルス/変調バイアスエッチング速度と選択度の向上

図10において、通常二酸化けい素 $\text{SiO}_2$ 等の材料のエッチング速度は、バイアス電圧が上がるにつれて増大する。したがって、バイアス電圧を上げれば酸化物のエッチング速度が上がる。しかし、残念ながらけい素/ポリシリコン等の集積回路構造中の関連する材料のエッチング速度もまたバイアス電圧につれて上がる。したがって、非常に高い二酸化けい素エッチング速度を提供する十分な大きさのバイアス電圧を用いると、けい素エッチング速度は（酸化物エッチング速度よりいくぶん低い）高すぎる値になり、選択度が低下する。二酸化けい素をエッチングするさいには、高い直流バイアス電圧 $V_1$ の特徴である高い酸化物エッチング速度と低い直量バイアス電圧 $V_2$ の特徴である比較的低いけい素エッチング速度の組合せ、したがって高い酸化物選択度を得ることが非常に望ましいことはきわめて明白である。

【0040】ここで図11の直流バイアス電圧波形70を見ると、 $V_2$ と $V_1$ の特性を組み合わせるという前のパラグラフで示した一見矛盾する目的は実際には高ベ

値 $V_1$ に周期的にパルス化あるいは変調することによってポリマー形成エッチング処理（けい素等の材料の上にエッチング抑制ポリマーを形成する処理）において達成される。 $V_1$ はけい素エッチングとけい素蒸着の間の交差点/電圧68（図10）以下であり、酸化物交差点/電圧69以上である。その結果、保護ポリマーがけい素上に蒸着され高速エッチング電圧 $V_1$ に復帰する間エッチングを抑制するが、 $V_1$ での酸化物のエッチングをに重大な抑制を加えるような蒸着は酸化物上に発生しないか、発生しても不十分である。好適には、 $V_1$ はポリマー上の蒸着を特徴とするが、少なくとも酸化物のわずかなエッチングである。この発明の一実施例においては、パラメータ $V_2$ （高直流バイアス電圧）、 $V_1$ （低直流バイアス電圧）、 $P_2$ （低電圧 $V_2$ のパルス幅）、および $P_1$ （低電圧パルスと高電圧パルスのパルス繰返し率あるいは結合された幅）の値はそれぞれ $-400\text{V}$ 、 $-225\text{V}$ 、約0.1秒、および約1秒である。

##### 2) 2周波数バイアス

代替の方法を図12の直流バイアス電圧波形71によって示す。比較的低い周波数電圧変動が基本バイアス電圧周波数に重畳される。たとえば、低い周波数 $T_2 < 25\text{KHz}$ （好適には $5-10\text{KHz}$ ）をベース高周波 $T_1 < 2\text{MHz}$ に重畳あるいは混合される。酸化けい素は絶縁体である。けい素/ポリシリコンは通常非常に薄い固有酸化物層しか持っていない。したがって、低周波数 $T_2$ の直流バイアス電圧変動は酸化物表面には見られない。なぜなら、これは帯電しているためである。しかし、基本的に絶縁されていないポリシリコンは低周波数 $T_2$ サイクルの低電圧のエクスカーション72（ $V_2$ ）中に保護層を形成することによって前述したものと同様の態様で低周波数 $T_2$ に反応する。この低周波数で形成した層は高周波数 $T_1$ サイクルの変動する高電圧エクスカーション73中、エッチングを不能とする。前述したように、二酸化けい素の絶縁性によって $T_2$ の低電圧エクスカーション中、エッチング抑制蒸着を不能とし、酸化物エッチングが $T_1$ サイクルの高電圧部分の期間に抑制されることなく進行する。

【0041】つまり、低周波数サイクル $T_2$ の低電圧エクスカーション72中にけい素上に保護層が形成され、蒸着を抑制することなく酸化物を急速にエッチングする高周波数サイクル $T_1$ の高電圧エクスカーション73中のけい素エッチングを抑制する。その結果、上述したパルス/変調による方法の場合と同様に、高い酸化けい素エッチング速度、比較的低いけい素エッチング速度および酸化物に対する高いエッチング選択度が得られる。パルス/変調法は現在2周波数バイアス法により好適であることに注意しなければならない。これは前者が精密な制御を行うことができるためである。

##### 7. ファラデーシールド

入力端に負荷コンデンサL、他端に同調コンデンサT、

また入力端に比較的低い電圧、他端にそれよりはるかに高い電圧を有する典型的なアンテナ30のコイル構成について考察する。グラウンドに近いコイルの最下部の巻線は低電圧RF入力に接続されている。通常、プラズマはガスの分解を静電的に開始することによってプラズマを開始する同調端に近い比較的高電圧の巻線の静電界にさらされる。分解の開始に続いて、プラズマへの結合は主として電磁的すなわち誘導的なものになる。このような動作は周知である。定常状態の条件下では、通常、静電結合と電磁誘導結合の両方が存在する。電磁結合の方が優勢であるが、加工の種類によっては静電界に敏感なものもある。たとえば、ポリシリコンのエッチングには酸化物のエッチングを防止するために低エネルギー粒子と低エネルギー衝撃が必要である。

【0042】図1および図15について説明すると、定常状態の静電界を減少させるには、この発明のチャンパーにはオプションとしてファラデーシールド45を内蔵することもできる。図15Aに示す実施例における構造は、ドーム壁17Wとアンテナ30を取り囲む接地された間隔を置いた軸方向に伸長するポストあるいはパーその他の円筒状の配列からなる、“単一”ファラデーシールド45Sと呼ばれるものである。この単一シールドは大きな間隔をおいた構成からシールドの各部分の間隔が非常に小さい構成までさまざまな態様とすることができる。

【0043】図15Bはその一方のパーが他方の間隔に重なるように間隔をおいた一対の同心のシールドからなるいわゆる“全”ファラデーシールド45Fを示す。これは、シールドを通る電界線の視線路を排除し、それによって静電界を分路する。ファラデーシールド45Sおよび45Fにはさまざまな構成が可能であるが、現在好適な構成は、図1に垂直断面図で示す外向きのフランジの付いた導電性の端部の開放した円筒状の構成である。単一壁あるいは二重壁の開口を設けたフィールド面46、47、48がアンテナの頂部、内面（ソース）および底面の周りに伸長し、グラウンド側49（ここは開放してなくてもよい）がアンテナの外側に位置する。この構成によれば、アンテナ30からの電磁波の軸方向の磁気成分がプラズマ16を生成するアンテナの平面に平行な閉ループ電界を誘起することを可能にする。しかし、シールド45はグラウンドへの直接電界成分を容量的に分路し、高周波電磁エネルギーの直接電界成分がプラズマに結合するのを防止する。シールド45を用いると、アンテナの変動する電圧が容量性変位電流結合のマックスウェル方程式にしたがってプラズマに結合する。これによってプラズマ密度とウエハ5のエネルギーに不均一性と勾配が誘起され、加工の不均一性や高エネルギー荷電粒子が発生する可能性がある。積分形式で表したファラデーの法則によれば面を通る変化する磁界によってその面に閉じた電界が発生しなければならない。この

現象を微分形式で表すマックスウェル方程式は誘起された電界のうずは磁界の変化の負の時間率に比例することを示している。正弦励起の場合、誘起されたEは変化するBフィールドの放射周波数およびそのピーク振幅に比例する。

【0044】つまり、不連続あるいはスリットの入ったあるいは分割されたファラデーシールドはコイルからの変化する電磁界に対するシールドの短絡効果を最小限にし、うず電流損失を低減し、高周波の軸方向の磁界のプラズマへの結合を可能にし、プラズマを生成する閉ループ電界を誘起するが、この電界（これはアンテナ上で変化する）のプラズマへの直接結合を不能にし、それによってプラズマの不均一性や高エネルギー荷電粒子に対する処理の不均一性といった損失を排除する。

## 8. 磁界の制限と増強

### 1) 制限

円筒／ドームプラズマ源の壁17Wにおける損失（プラズマ密度の低下）を低減するために、周辺の環状（浅い）磁界を発生する磁気装置が設けられている。図13の水平断面図に示す好適な構成では、この磁界は軸方向の永久磁石あるいは電磁石76-76を近接して配置した“バケツ”あるいは円筒状の多極配列によって提供され、磁石はそれぞれがその短尺方向に着磁されて閉じた交番磁極の周辺-N-S-N-S-磁界Bを形成する。この多極配列はドーム壁に他カスプ磁気ミラー77を生成する。また、この配列は水平なリング磁石とすることもできる。かかる磁石は壁17Wの電子損失を低減し、ウエハを磁界にさらすことなくプラズマの密度と均一性を向上させる。

【0045】また同様に、永久磁石あるいは電磁石を下部チャンパー16Aの周囲に、通常はN-S-N-S...N-Sの交番する構成の多極配列に配置して、チャンパー壁に多カスプ磁気ミラーを発生させることもできる。これらの磁石は垂直方向の棒磁石とすることができ、また好適にはたとえば水平なリング磁石とすることができる。かかる磁石は壁の電子損失の低減に用いることができ、それによってウエハを磁界にさらすことなくプラズマの密度と均一性が向上する。さらに、磁石の放射状の配列を円筒状プラズマ源のドームの頂部あるいは頂部プレート17T上に取り付けて頂部での損失を低減することもできる。

【0046】図3について説明すると、基板加工領域16B中のプラズマは、ほぼ平面状をなす磁石の格子をプラズマ源領域の底部と加工領域の頂部に配置することによって、発生あるいはプラズマ源領域16A中のプラズマから減結合することができる。この磁気格子は、上述したバケツ構成と同様に近接したほぼ平行な磁気パー78-78からなり、その短尺方向にN-S着磁されて磁力線が一つのパーから出て次のパーで終了する平面構成の-N-S-N-S-N-S-磁界を提供する。その結果得られ

るプラズマ源の開口部15にかかるほぼ平面状の磁気フィルター79が磁界をこの平面とプレートの領域に制限し、プラズマ源にもウエハ領域にも侵入しない。

【0047】 $F=qV \times B$ の関係から、プラズマ源の高エネルギー/高速電子はこの磁界79によってイオンよりも高い程度で曲げられ、あるいははね返され、基板加工領域に貫入することができない。これによって加工領域16B中の高エネルギー電子の密度が低下し、同領域のプラズマ密度が低下する。加工領域とプラズマ源領域は減結合される。

【0048】このフィルターによる磁気制限法は小型システムのプラズマ領域を減結合するのに特に有効である。すなわち、たとえば基板上のイオン密度を高くすることなく高い基密度を提供し、同時にコンパクトさを維持する。ある好適な構成では、フィルター磁気制限は空気冷却用の中空のバーと細長い磁石を有する機械仕上げのアルミニウム板を用いて実施される。

【0049】バケツ磁気制限構成とフィルター磁気制限構成を一緒に用いることもできる。

## 2) 増強

上述したように、図3に示す一つあるいはそれ以上の(好適には少なくとも二つ)永久磁石あるいは電磁石81-81を用いてアンテナコイルの水平面と高周波RF放射アンテナによって誘起される電界の両方に対して直角をなしたそれらを通るほぼ軸方向の静電界を形成することができる。好適にはつぎに説明するように、三種の磁界、すなわち均一磁界、発散磁界あるいは磁気ミラーのうちの一つが用いられる。

【0050】図14(A)について説明すると、磁石81-81によってウエハ5に直角に加えられる同質の軸方向の均一磁界82は電子の運動を壁に制限する。イオンが高周波磁界変動に追従できないため、イオンは電子の不足にしたがってウエハ上のプラズマ中に集まる。最大限の効率を得るには、この磁界あるいは他の静磁界を高周波電磁界で共振に同調することができる。 $\Omega = 2\pi F = Be/m$ 、ここでBは磁束密度であり、eとmはそれぞれ電子の電荷と質量である。

【0051】軸方向の発散磁界83の概略を図14(B)に示す。磁気モーメントの保存により、磁界の軸勾配が円並進エネルギーを軸並進エネルギーに変換し、電子とイオンを強い磁気領域からより弱い磁気領域に駆動しようとする。発散磁界は電子とイオンをプラズマ発生領域から押し出しプラズマをウエハに集中させるのに用いることができる。

【0052】図14(C)と図14(D)について説明すると、ふくらし磁界あるいは助成磁界84(図15(C))とカスプ状あるいは対向磁界85(図15(D))を示している。これらのいわゆる“磁気ミラー”磁界のそれぞれの効果は軸方向発散磁界の効果と同様である。荷電粒子が比較的強い磁界領域から比較的弱

い中央の領域に駆動される。

【0053】磁石を選択的に配置し、また単一あるいは複数の磁石によって提供される磁界の強さを選択および変化させることによって、関連する均一な発散磁界あるいは磁気ミラー磁界を制御された態様とし、ウエハのプラズマ密度を増大させる。磁気ミラー磁界の場合、最大のプラズマ密度増強を得るための好適なウエハ位置は張り出しあるいはカスプ上あるいはそれに密接する位置であり、これによって最大限のプラズマ密度増強が得られる。

【0054】アンテナのボリウムに軸方向の磁界を用いてプラズマの生成を向上させたいがウエハ上では磁界を排除したいという場合がある。(軟鉄用のニッケルあるいは鋼鉄等の)の高透磁性材料でできた環状のディスクを磁石とアンテナの平面の下ウエハ5の上に介装することができる。

## 3. 抽出

適当な磁界を用いてイオンと電子をウエハ方向に抽出することができる。

## 9. 制御システム

以下の定義は図16に示す制御システムについて用いる。

【0055】	Psp	電力設定点
Pf	正方向電力	(電源に配置した方向性結合器によって測定)
Pr	反射電力	(電源に配置した方向性結合器によって測定)
Z	インピーダンスの大きさ	
<phi	インピーダンスの位相	
Tsp	同調設定点	
Lsp	負荷設定点	
Tfb	同調フィードバック	(測定値)
Lfb	負荷フィードバック	(測定値)

図16は電源を含む各種の構成要素を制御するための代表的なシステムのブロック図である。ここで、システムコントローラ86はアンテナ電源31、インピーダンスブリッジ87、アンテナ30、バイアス電源31、インピーダンスブリッジ88、整合ネットワーク43、およびカソード32とインターフェースされている。イオン束密度とイオンエネルギーに対して選択された処理パラメータ、アンテナ電力および直流バイアスがコントローラ86への入力として供給される。また、コントローラ86はガス流、チャンパー圧力、電極あるいはウエハの温度、チャンパーの温度、その他のパラメータを制御する。コントローラはアンテナ30に接続されたTsp1ラインおよびLsp1ライン上に信号を発することによって初期の同調1および負荷1の条件を設定することができる。また、コントローラは整合ネットワーク43に接続されたTsp2ラインおよびLsp2ライン上に信号を発することによって初期の同調2および負荷2の条件を設定

することができる。通常、これらの条件はプラズマの開始（ガスの降伏）を最適化するように選択される。電力はまずアンテナ30あるいはカソード32のいずれかまたはその両者に同時に印加することができる。コントローラ86はアンテナ電源31へのPsp1ラインとバイアス電源42へのPsp2ライン上に同時にあるいは順次（順次はどちらが先でもよい）電力設定点を発する。

【0056】電子なだれ降伏がガス中で急激に発生し、プラズマが生成される。コントローラ86はアンテナ30との間の正方向電力(Pf1)および反射電力(Pr1)を監視し、またカソード32との間の正方向電力(Pf2)および反射電力(Pr2)を監視する。直流バイアス（カソード-アノード直流電圧）もまたコントローラ86に示すように監視される。コントローラは（a）正方向電力Pf1および反射電力Pr1あるいは（b）インピーダンスの大きさ $|Z1|$ とインピーダンスの位相 $\angle\phi1$ のいずれかに基づいてラインTsp1およびLsp1上に設定点を発することによってコイル同調1および負荷1のパラメータを調整する。ブリッジ87はコントローラにインピーダンスの大きさと位相角の情報を与える。アンテナ30は反射電力Pr1がほぼゼロであるとき、またインピーダンス（大きさと位相 $|Z1|$ と $\angle\phi1$ ）がコイル電源出力インピーダンスの複素共役であるときマッチングしている。（ゼロ反射電力条件と共役インピーダンス条件は同時に発生する。したがって、反射電力が最小化されるか、インピーダンスが整合するかのいずれかであり、その結果は同じになる。あるいは、VSWR（電圧定在波比）あるいは反射係数が最小になる。）コントローラ86は（a）正方向電力Pf2および反射電力Pr2あるいは（b）インピーダンスの大きさ $|Z2|$ とインピーダンスの位相 $\angle\phi2$ のいずれかに基づいてラインTsp2およびLsp2上に設定点を発することによってカソード32と整合ネットワーク同調2および負荷2のパラメータを調整する。ブリッジ88はコントローラにインピーダンスの大きさ $|Z2|$ と位相 $\angle\phi2$ の情報を与える。アンテナのマッチングと同様に、反射電力Pr2がほぼゼロであるとき、またインピーダンス（大きさ $|Z2|$ と位相 $\angle\phi2$ ）がバイアス電源504出力インピーダンスの複素共役であるときマッチングが起こる。直流バイアスはコントローラ86によって監視される。コントローラ86はバイアス電源の出力電力を変化させて所望の測定直流バイアスを得る。コントローラ86は直流バイアスの所望の値から直流バイアスの測定値を減算する。その差が負である場合、バイアス電源42の出力が上げられる。その差が正である場合、バイアス電源の出力が下げられる（バイアス電源の出力が高いほど直流バイアスは負の方向に大きくなる。）この方法によれば、比例制御、比例積分制御、あるいは比例積分微分制御あるいはその他の制御を用いることができる。

【0057】また、バイアス電源42の出力を調整して

一定の直流バイアスを維持するこの実施例に替わって、定バイアス電源出力を用いることもできる。上述した直流バイアスサーボマッチング技術に加えて、ピーク-ピークRF電圧へのサーボによっても自動同調を行うことができる。この後者の方法はたとえば計器の駆動用の電流を提供するのにカソードとアノードに十分な導電面積を必要とするある種のエッチング処理においては有効であることがある。ポリマーコーティング技術を用いるとこれらの導電領域が不動態化され、電流によって計器が飽和することを防止して有効な読みが得られる。それと対照的に、ピーク-ピークRF電圧の方法は特に好適な周波数範囲に関連する低周波数においては影響を受けない。測定値はカソードではなくチャンパーに近い整合ネットワーク43で得ることができる。

【0058】コントローラ86は中央制御装置あるいは制御装置の分散形システムとすることができる。感度のよいウエハ装置構造を得るにはターンオン/ターンオフシーケンスが重要である。一般に、プラズマ源を始めにオンして最後にオフするのが好適である。これはこの方法によればシース電圧の変化を最小限にできるためである。アプリケーションによっては、バイアスを先にオンする方がよい場合もある。

#### 10. 伝送線構造

参照した特許出願米国特許559,947号に詳細に説明しているように、適正な同軸伝送線の設計には、低い特性インピーダンスを介した給電、整合ネットワークからウエハまでの短い伝送線、そして伝送線に沿ったリターンパスが必要である。この設計条件はカソード32C、同心環状導体320、およびカソード32Cを取り囲むカソードを同心環状導体320から絶縁し、降伏の可能性のあるプロセスガスを置換する非孔質の低損失絶縁体321からなる図1に示す一体伝送線構造32によって満足される。たとえば、Teflon<sup>TM</sup>や石英の材料は絶縁耐力が高く、比誘電率が低く、損失が少ないため好適である。この構造の入力側は次に説明する方法で整合ネットワークに接続されている。絶縁されたカソード32Cと外側導体320は整合ネットワーク43とプラズマ16の間に別々の電流路を提供する。一つの可逆電流路は整合ネットワークからカソード32Cの外周に沿ってチャンパー（電極）の表面のプラズマシースに向かう。第2の可逆路はプラズマ16からチャンパー12の上部の内側の部分に沿って次に導電性排気マニホルドスクリーン29に沿って外側導体320の内部を経て整合ネットワークに向かう。排気マニホルドスクリーン29は均一径方向ガスポンピングシステムとRF電流のリターンパスの一部をなすことに注意しなければならない。

【0059】交流エネルギーの印加中、RF電流路の方向は交互に図示する方向とその逆の方向になる。伝送線構造32は同軸ケーブル型の構造であるため、またより詳細にはカソード32Cの内部インピーダンスが（その

外側に比べて) 高いため、RF電流は同軸伝送線の態様でカソード32Cの外側と外側導体320の内面に流れる。表皮効果によってRF電流が伝送線の表面の近くに集中し、電流路の有効断面積が減少する。たとえば直径4-8インチといった大きなウエハとそれに対応する大径のカソード32Cおよび大径の外側導体320を用いると、有効断面が大きくなり、低インピーダンス電流がこの伝送線構造を流れる。

【0060】また、同軸型伝送線構造32がその特性インピーダンス $Z_0$ に等しい純抵抗で成端される場合、整合ネットワークは伝送線の長さとは無関係に一定のインピーダンス $Z_0$ を有する。しかし、実際にはこのようにはならない。それはプラズマはある範囲の圧力と電力にわたって動作し、さまざまなガスからなり、これらのガスが集合的にプラズマが伝送線32の終端で提供する負荷インピーダンス $Z_L$ を変化させるためである。負荷 $Z_L$ は理想的でない(すなわち無損失でない)伝送線32に整合していないため、伝送線にある定在波が伝送線と整合ネットワークの間の抵抗損失、誘電損失その他の損失を増大させる。整合ネットワーク43は定在波や整合ネットワークの入力から増幅器あるいは電源42までの損失を除去するのに用いることができるが、整合ネットワーク、伝送線32、およびチャンパー内のプラズマは伝送線32と整合ネットワーク43の間の抵抗損失、誘電損失その他の損失を増大させる共振系を構成している。つまり、負荷インピーダンス $Z_L$ は損失と整合しないが、 $Z_L = Z_0$ のおき損失は最小限になる。

【0061】負荷の不整合に起因する損失をなくすために、同軸型伝送線構造32はプラズマ動作に伴う負荷インピーダンスの範囲に最も適した特性インピーダンス $Z_0$ を持つように設計される。通常、上述の動作パラメータ(例: バイアス周波数範囲は約0.3-3MHz)と考察している材料に対しては、プラズマから伝送線に与えられる直列等価RC負荷インピーダンス $Z_L$ は約10オームから100オームの範囲の抵抗と約50ピコファラドから約400ピコファラドの範囲のキャパシタンスからなる。したがって、伝送線特性インピーダンス $Z_0$ の最適値としては、負荷インピーダンス範囲の中間、すなわち約30オームから50オームが選択される。

【0062】整合ネットワークの見るプラズマインピーダンスの変形を避けるために伝送線32は非常に短いものでなければならない。好適には、伝送線は $1/4$ 波長( $\lambda/4$ )よりはるかに短い。より好適には約(0.05-0.1) $\lambda$ である。また、電力結合をより効率的に行うためには、導体320の内径(断面寸法)は中央導体32Cの外径(断面寸法)より著しく大きいものであってはならない。

【0063】つまり、このチャンパーは整合ネットワーク31からの電力をプラズマ33に結合する伝送線構造を内蔵している。この伝送線構造は(1)プラズマイン

ピーダンスの変形を防止するために対象とする周波数における $1/4$ 波長に比べて非常に短いあるいは半波長にほぼ等しいのが好適であり、(2)プラズマと整合ネットワークの間の線上の定在波の存在に起因する損失を抑制するように選択された特性インピーダンス $Z_0$ を有し、(3)断面寸法が中央導体の断面寸法よりさほど大きくない外側導体路を用いる。

#### 11. チャンパー温度制御

反応装置チャンパーシステム10に組み入れることのできる温度制御機能には、吸気マニホールドの内部もしくは外部温度をある一定の値の上下に、あるいはある一定の範囲内に維持するための流体伝熱媒体の使用、カソード32Cの抵抗加熱、カソード32Cの流体伝熱加熱あるいは冷却、ウエハ15とカソード32Cの間のガス伝熱媒体の使用、チャンパー壁12-14もしくはドーム17を加熱あるいは冷却するための流体伝熱媒体の使用、およびウエハ15をカソード32Cに拘束するための機械手段あるいは静電手段が含まれるが、これらには限定されない。かかる機能はここで参照した同時譲渡された1989年10月10日付け米国特許第4,872,947号および同時譲渡された1989年6月27日付け米国特許第4,842,683号に開示している。

【0064】たとえば、再循環閉ループ熱交換器90を用いて流体、好適には誘電流体を、流路91に概略を示すようにウエハ支持体/カソード32Cのブロックおよび受台に流して、ウエハ支持体を冷却(もしくは加熱)することができる。酸化けい素エッチングの場合、たとえば-40℃の誘電流体温度が用いられる。上述したように、ウエハ5とウエハ支持体32の間の熱の伝達はウエハと支持体の界面のヘリウム等の不活性ガス伝熱媒体によって増強される。

【0065】チャンパー壁とドームは空気の対流(吹き出された空気)もしくは誘電流体熱交換器によって加熱もしくは冷却することができる。たとえば、閉回路熱交換器92は通路93に沿ってチャンパーの側壁に加熱から冷却までたとえば+120℃から-150℃までの範囲の制御された温度で誘電流体を再循環させる。同様に、ドーム側壁17Wと頂壁17Tは通路95、97に沿って流体を再循環させる熱交換器94、96によって加熱もしくは冷却することができる。

【0066】代替の誘電体熱制御システムにおいては、アンテナコイル30はドームの二重壁17Wの間に再循環する誘電流体に浸された状態で配置される。別の代替のドーム誘電体熱制御法では、アンテナ30のコイルが高温プラスチックあるいはTeflon<sup>TM</sup>中に封じられ、伝熱性サーマルグリースがこの封入されたアンテナとドームの間に塗布され、中空のコイルが誘電流体をこのコイルに流すことによって加熱もしくは冷却される。RFエネルギーもまたコイルに加えられ、またプラズマに近接していることから、誘電油は、許容できる流量での効



率的熱伝達のための高い固有比熱および密度に加えて、良好な誘電および絶縁特性さらに高い沸点を持っていないければならない。適当な誘電流体としてはDuPontの販売するSilthermがある。

## 12. 3電極構成

図1について説明すると、現在の好適な実施例ではこのチャンパーは新しいプロセス制御と改善を可能とする独特の3電極構成を内蔵している。この構成はカソード（好適にはウエハ支持電極32）、アノード（好適にはチャンパー側壁および底壁）および頂部電極からなり、頂部電極はドームの頂部プレート17Tである（あるいはこれを含む）。図1に示すように、頂部電極は浮動、接地されたもの、あるいはRF電源40に接続されたものである。頂部電極はさまざまな構成を含み、さまざまな材料で構成することができる。すなわち、導電性材料（好適にはアルミニウム）、陽極処理したアルミニウム等の誘電体コーティングした材料、アルミニウム-けい素合金等のけい素あるいはけい素含有材料からなり、あるいはけい素ウエハのような犠牲けい素部材17Sを含むがシリコンウエハには限定されない。

### 1) 接地された第3の電極

接地された頂部プレート17Tは（壁12によって与えられる従来の基準に対して）バイアス電圧の接地基準面を向上させ、その結果プラズマ源16Aから加工領域16Bへのイオン抽出を増強し、したがって加工速度（エッチング速度等）を増大させる。さらに、接地された頂部プレートは（プラズマ源で生成された）プラズマとウエハの結合を向上させる。

### 2) バイアスされた第3電極

RFバイアスされた第3の電極を（けい素含有部材を含むあるいはけい素含有部材に覆われた電極を用いた）自由けい素のソースプラズマへの供給と組み合わせて用いると、エッチング速度や選択度を含むさまざまな加工特性が向上する。ソースプラズマの強い解離特性に助けられて、けい素は気相に入り、自由ふっ素と結合/除去する。（ソースプラズマの解離特性からふっ素含有ガス化学作用をたとえば酸化物エッチングに用いると、高い濃度が得られる。これによって酸化物のエッチング速度が上がるがポリシリコン等の関連のウエハ材料のエッチング速度も上がり、したがってポリに対する酸化物の選択度が下がる。）自由けい素によるふっ素除去によって、チャンパー上や酸化物の側壁上の蒸着を含めたポリマー蒸着の傾向のより少ない、いわゆる“より軽い”ポリマー化学作用の使用が可能になる。その結果、酸化物エッチング速度が上がり、ポリに対する酸化物の選択度が上がり、酸化物エッチングの異方性と垂直プロファイルが増強され、マイクロレーディングが提言される。さらに、自由けい素は重合反応に影響し、けい素上で酸化物に対してより安定した不動態化ポリマーの蒸着を発生させ、ポリシリコンのエッチング速度の抑制が向上し、け

い素に対する酸化物の選択度が上がる。

【0067】さらに、犠牲けい素含有第3電極はCOもしくはCO<sub>2</sub>添加剤等の炭素および酸素含有ガスの使用と相乗的に動作してポリシリコン表面にポリマーを形成する。これによってけい素エッチングの抑制が大きくなり、けい素に対する酸化物の選択度が高くなり、酸化物上のポリマー側壁蒸着が増大し、したがってエッチングの異方性と酸化物の垂直側壁エッチプロファイルが向上する。ここでは、“相乗的”ということばをあえて用いているが、これは炭素および酸素含有ガス化学作用と犠牲けい素含有電極の使用の組合せから得られる以上の加工の改善が、単にこれら二つの特徴の個々の利点に加わるというよりはるかに大きいためである。さらに、これらの特徴をCHF<sub>3</sub>主エッチャントを含むガス化学作用に用いても酸化物エッチング速度が上がり、他のふっ素化学作用に比べてポリシリコンエッチング速度が低下するという点で相乗効果がある。

### 例：酸化けい素上でのポリシリコンエッチング

けい素ウエハ上の酸化けい素の上にポリシリコンのエッチングを、この発明の3電極チャンパー内で約2mlから約20mlの範囲の圧力、50ccの塩素（Cl<sub>2</sub>）エッチャントガス流量（マニホールドG1のみ）、1500ワットの電源電力、20ボルトのバイアス電圧、および接地された頂部電極（けい素なし）を用いて行った。その結果、3500-4000オングストローム/分のポリシリコンエッチング速度、垂直なエッチングプロファイル、および酸化物に対して>100:1のポリシリコンの選択度が得られた。

### 例：酸化けい素蒸着

けい素ウエハ上での二酸化けい素の2ステップバイアススパッタ蒸着を、この発明の3電極チャンパー内で約2mlから約10mlの範囲の圧力（両ステップとも）、アルゴン約200cc/酸素約90cc/シラン約45ccのガス流量（両ステップとも、マニホールドG1のみ）、2000ワットの電源電力（両ステップとも）、接地された頂部電極（両ステップとも）、約-20ボルトのバイアス電圧（第1ステップ）、および約100-200ボルト（第2ステップ）を用いて行った。その結果、第1ステップ（スパッタリングなし）において>7500オングストローム/分の蒸着と、第2のステップにおいて約4000-5000オングストローム/分の純酸化物蒸着（プロファイル制御スパッタリング蒸着）が得られた。

### 【0068】例：ポリマー形成化学作用を用いたポリシリコン上の酸化けい素エッチング

ポリシリコン上に酸化けい素を、この発明の3電極チャンパー内で約2mlから約30mlの圧力、CHF<sub>3</sub>、30-60sccm/COあるいはCO<sub>2</sub>、6-18sccm/Ar、100-200sccm（マニホールドG1のみ）のガス化学作用流量、2000ワットの電源電力、200ボルトのバイアス電圧、頂部電極17Tと、そこに取り付け

られ2MHz、1000ワットのRFエネルギーでバイアスされたけい素ディスク17Sを用いて行った。酸化けい素は8000オングストローム/分の速度でエッチングされ、ポリに対する酸化物の選択度は50:1であった。また、けい素含有体は石英ドーム壁17W上のシリカコーティングによって補強することができる。

### 13. エッチングアプリケーションの説明

1) 半導体製造における重大な課題は下の層がポリシリコンであるとき、選択された厚みの二酸化けい素をエッチングすることである。酸化けい素は比較的高速でエッチングされ露出したポリシリコンはほとんどエッチングされないようにするには高い選択度が必要とされる。残念ながら、ポリシリコンは通常酸化けい素より速くエッチングする。この問題に対する従来の対策はプラズマガス中にCF<sub>4</sub>と結合したCHF<sub>3</sub>、や水素、あるいはメタンといった炭素、水素、およびふっ素の化合物を導入することであった。この結果、ポリシリコンの上に薄い不動態化層が生成され、酸化けい素に対して比較的高い速度でエッチングを続けることができる。残念ながら、高密度プラズマはプラズマ源領域においてフィードガスの原子に分解する可能性があり、ウエハ上に形成される厚いポリマー層が小さい装置寸法形状のエッチングをより困難にする。この点における重要な概念は“マイクロローディング”であり、次のように定義される。

#### 【0069】1-（エッチング速度比）

ここでエッチング速度比はウエハの細部におけるエッチング速度と大まかな部分におけるエッチング速度の比である。したがって、あるエッチング処理が細部と大まかな部分のいずれも同じ速度でエッチングが行われる望ましい特性を持っている場合、マイクロローディングは1-1/1=0である。細部のエッチング速度がはるかに遅い処理においては、マイクロローディングの値は1.0に近くなる。

【0070】ここで説明したエッチングアプリケーションの困難な点は、高いエッチング選択度を得るためにはプラズマ中に比較的多量のポリマー形成ガスを用いなければならないが、ポリマー層のマイクロローディングはゼロよりはるかに大きくなることである。通常、0.1のマイクロローディングの場合10:1以上の選択度比を得ることは期待できない。しかし、マイクロローディングが事実上ゼロで30:1あるいは40:1といった高い選択度比を要求するアプリケーションも多い。

#### 2) プラズマ源領域におけるけい素の使用

高密度プラズマ源の場合、ポリシリコンを自然にエッチングする解離生成物の一つはふっ素である。前述したように、けい素を用いてプラズマ源領域から自由ふっ素基を取り除くことができる。けい素は第3電極17T上、あるいはチャンバーの内壁17W上のコーティングの形態を取ることができる。犠牲けい素が壁にある場合、けい素の厚さが、RFエネルギーがアンテナ30からプラ

ズマに供給される周波数とともに問題になる。これらのパラメータは十分なエネルギーがチャンパー壁を通して電磁結合されるように選択しなければならない。17Tに示すようにけい素が第3電極に含まれる場合、けい素の厚さはさほど重要ではない。いずれにしても、けい素がプラズマ源領域からの捕集自由ふっ素に利用可能となった場合、ふっ化けい素(SiF<sub>4</sub>)が形成される。これは揮発性ガスであり、簡単にチャンパーの外に流出するものである。ふっ素がこのようにして除去されると、より低い濃度のポリマー形成ガスが必要であり、多量のポリマーがウエハ上に堆積する傾向は少なくなる。選択度は二つのメカニズムによって向上するように思われる。まず、ふっ素が除去されることによってポリシリコンのエッチング速度が下がり、次に、プラズマ源領域のけい素の存在はポリマー層の形成の態様に影響するようである。理由はまだ十分明確になっていないが、ポリマー層は酸化けい素よりもポリシリコン上でより急速に形成され、これもエッチング処理を向上させる。

【0071】けい素材料自体がこの過程でポリマーによってコーティングされ、最後にはその効果を失うことがある。けい素が加熱されると、これはポリマーの形成を減少させ、けい素が電氣的にバイアスをかけられると、けい素の表面の衝撃を十分増すことができ、ポリマーは表面からスパッタされ、けい素が再び露出する。したがって、この発明の一実施例においては、けい素をバイアスされた電極に用いるが、代わりにけい素をバイアスされていない電極の面あるいはチャンパー壁に含ませることもできる。

#### 3) 酸素含有添加ガスの使用

12節で述べたように、COあるいはCO<sub>2</sub>等のガスをプラズマ源領域に用いると、エッチング性能がさらに向上する。すなわち、プラズマのポリシリコンをエッチングする能力が抑制され、ポリシリコンに対する酸化けい素のエッチング選択度が向上する。さらに、酸化物上のポリマーの側壁蒸着が低減され、その結果エッチングの異方性と酸化物の垂直側壁エッチングプロファイルが向上する。好適な方法は酸素含有添加ガスを他の関係する増強策、すなわちバイアスされた頂部電極に含められたけい素とともに用いることであるが、酸素含有添加ガスは、バイアスされた頂部電極を用いたり、プラズマ源領域からのふっ素の除去にけい素を同時に用いなくとも効果がある。

#### 14. 他の特徴

##### 1) プラズマ制御

この発明の特徴は“下部”電力を自動的に変化させて一定のカソード（ウエハ）シース電圧を維持することである。高度に非対照的なシステムにおいては低圧(<500mT)ではカソードで測定される直流バイアスはカソードシース電圧の近似値となる。下部電力は自動的に変化させて一定の直流バイアスを維持することができる。下

部電力はプラズマ密度やイオン流密度にはほとんど影響しない。上部あるいはアンテナ電力はプラズマ密度やイオン流密度には非常に強い影響を持つが、カソードシース電圧に対する影響は非常に小さい。したがって、上部電力をプラズマ密度やイオン流密度を決めるのに用い、下部電力をカソードシース電圧を決めるのに用いることが望ましい。

## 2) 差動バイアス

ウエハ5をアースに対してバイアスする代わりに、図1および図2に点線の接続50で示すようにバイアス整合ネットワーク43と頂部プレート17Tをアースから外し、互いをレファレンスとすることもできる。図2を説明すると、頂部プレートは頂部プレートとウエハの間の電圧 $V_{T-S}$ が頂部プレートと壁12の間の電圧 $V_{T-W}$ の大きさの約2倍でウエハと壁の間の電圧 $V_{S-W}$ の大きさの約2倍になるように差動的に駆動されバランスされる。このバランスされた差動駆動がプラズマと壁の相互作用を少なくし、プラズマ源領域16Aとウエハ領域16Bの間の相互作用——イオン抽出——を多くする。

## 3) 代替構成

この発明のプラズマ反応装置システムを図1に従来の向き（垂直）で示す。基板5が電極32（カソード）に上にあり、アンテナ30が電極の上のドーム17を取り囲んでいる。便宜上、アンテナ30に供給される電力を“アンテナ”あるいは“プラズマ源”あるいは“上部”電力と呼び、電極/カソード32に供給される電力を“バイアス”あるいは“下部”電力と呼んできた。これらの表現および名称は便宜的なものに過ぎず、説明されたシステムは反転、すなわち電極32を上アンテナをこの電極の下に配置して構成することもでき、あるいは変更を加えることなく他の方法で配置する（たとえば水平に配置する）ことができる。つまり、この反応装置システムは向きに関係なく機能する。反転した構成ではプラズマはアンテナ30で生成され、上方に搬送されて本明細書で説明した方法でアンテナの上に位置する基板5に向かう。すなわち、活性種の搬送は拡散とパルクフローによって発生する。あるいは場合によっては軸勾配を有する磁界に助けられて発生する。この過程は重力には左右されず、したがって方向には比較的影響されない。反転した向きはたとえば気相状態のプラズマ発生領域、あるいは表面上で形成された粒子が基板に落下する可能性を最小限にできるという点で有益である。その後重力によってかかる粒子のうち最小のものだけが重力ポテンシャル勾配に逆らって基板表面に向かって上昇する。

【0072】以上の詳細な説明から、この発明の原理はここに例として掲げたもの以外の代替の構成にもあてはまることが理解されるであろう。この発明が関係するすべての構成の共通の特徴は、プラズマがチャンパーの外

上、電磁結合という用語はRFエネルギーがチャンパー内に形成されたプラズマの容積あるいは体積に結合されることを意味し、エネルギーがプラズマと一つあるいはそれ以上の電極の間のシース層を介して転送される容量性結合と異なる。ここに開示したこの発明の実施例では、RFエネルギーは誘導によってプラズマに電磁結合されるが、RFエネルギーのプラズマの容積への直接的電磁結合を行う他のエネルギー転送メカニズムもあることが理解されるであろう。たとえば、マイクロ波ECR（電子サイクロトロン共振）システムもまたエネルギーをプラズマの容積に電磁結合するものである。

## 4) 高圧および低圧動作と可変間隔

この発明のチャンパーの設計は高圧動作と低圧動作の両方に有効である。ウエハ支持カソード32Cとアンテナの最下部のコイルあるいは巻線の面の間の間隔dは高圧動作と低圧動作の両方に適応させることができる。たとえば、500ミリトルー50ミリトルの高圧動作には好適には約5cmより小さい間隔dが用いられ、0.1ミリトルー500ミリトルより小さい範囲での低圧動作には5cmより大きい間隔dが好適である。チャンパーには図示するように固定された間隔dを用いることもでき、また交換可能なあるいは入れ子式の上チャンパー部のような可変間隔設計を用いることもできる。反応装置システム10は酸化けい素や窒化けい素といった材料の高圧および低圧蒸着、二酸化けい素、窒化けい素、けい素、ポリシリコンおよびアルミニウム等の材料の低圧異方性反応イオンエッチング、かかる材料の高圧プラズマエッチング、およびウエハの微細構成の平面化を含むCVDファセッティング、等の処理に有効である。反応装置システム10を用いることのできるこれらの処理およびその他の処理については、同時譲渡されたVHF/UHF PLASMA PROCESS FOR USE IN FORMING INTEGRATED CIRCUIT STRUCTURES ON SEMICONDUCTOR WAFERSと題する1990年7月31日付けCollins その他の米国特許出願07/560,530号（AMATファイル No. 151-2）に説明されている。

## 15. 装置の例

この発明のシステムの実施例には図1に示すプラズマ源構成とアンテナ構成が含まれている。高さ5インチの石英のプラズマ源チャンパー17の直径は12インチである。2MHz、直径13インチ、高さ4インチ、13巻コイルアンテナが両端で（接地された可変コンデンサLとTで）グラウンドプレーンから（の下）約0.25インチ間隔をおいて成端し、プラズマ源を取り囲んでいる。反応負荷整合が可変コンデンサL（10-3000ピコファラド可変コンデンサ、定格5kV）によって供給されている。またアンテナの共振への容量性同調が同調コンデンサT（5-100ピコファラド、15kV定格）によって提供されている。2キロワット2MHzのソースRFエ

37

エネルギーを用いた動作を行うと、2インチ下流（プラズマ源の下）のウエハに伸長するプラズマが提供される。これが  $1-2 \times 10^{12}/\text{cm}^3$  のプラズマ密度とウエハの下流で  $10-15 \text{ mA}/\text{cm}^2$  のイオン飽和電流密度を提供する。アンテナの約2インチ下（下流）の支持電極に配置された5インチのウエハに印加される2MHz、600ワットの下部あるいはバイアスは200ボルトのカソードシース電圧を提供する。

【0073】

【発明の効果】 上述したように、この発明を実施した上述の反応装置は反応イオンエッチング、高圧プラズマエッチング、スパッタファセット蒸着および平面化を含む低圧化学蒸着（CVD）および高圧コンフォーマル等方性CVD等のさまざまなプラズマ加工に独自の効果を提供する。アプリケーションにはスパッタエッチング、イオンビームエッチング、あるいは電子としてはイオンあるいは活性中性プラズマ源があるがそれらに限定されるものではない。

【0074】 当業者にはこの発明はドームの使用に限定されるものではないことは明白であろう。むしろ、この発明はプラズマ源領域と加工領域を有するほとんどあらゆる構成に適用しうるものである。これには、たとえば図示するような“階段状の”ドーム型チャンパー構成や、プラズマ源領域と加工領域あるいはチャンパー部分がほぼ同じ断面を有する非階段状の構成がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明のプラズマ反応装置チャンパーの概略断面図である。

【図2】 この発明のプラズマ反応装置チャンパーの概略断面図である。

【図3】 この発明のプラズマ反応装置チャンパーの概略断面図である。

【図4】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のインピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図5】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のイン

38

ピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図6】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のインピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図7】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のインピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図8】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のインピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図9】 発電器のインピーダンスをプラズマ負荷のインピーダンスに整合させる同調回路の概略図である。

【図10】 けい素と二酸化けい素に対するエッチング速度がプラズマエッチング処理中の増大する直流バイアス電圧の増大につれて変化する態様を示すグラフである。

【図11】 この発明の一側面による直流バイアス電圧の波形を示すグラフであり、バイアス電圧は高基線値から低値に周期的にパルス化される。

【図12】 この発明の他の側面による直流バイアス電圧の波形を示すグラフであり、バイアス電圧は第1の周波数での平均値付近で変動する。バイアス電圧のエクスカッションの振幅は第1の周波数より低い第2の周波数にしたがって変更される。する直流バイアス電圧の増大につれて変化する態様を示すグラフである。

【図13】 プラズマ密度と均一性を向上させるための磁石の構造を示すプラズマ加工チャンパーの概略図である。

【図14】 (A) - (D) はそれぞれ軸方向磁界を加工を向上させるために加工中のウエハに対してどのような形状にするかを示す図である。

【図15】 (A) - (B) はそれぞれチャンパー中のプラズマに結合する定常状態静電界を低減するための二つの交番するファラデーシールド構造を示す部分図である。

【図16】 この発明のプラズマ反応装置のさまざまな構成要素を制御するための例示のシステムのブロック図である。

【図4】

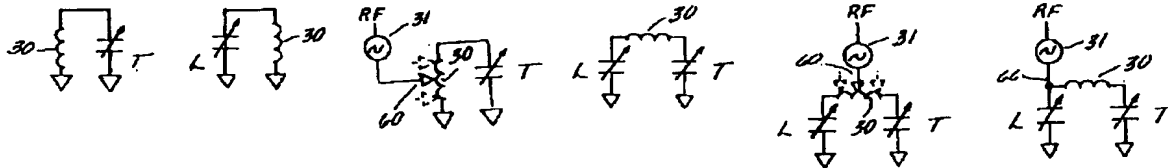
【図5】

【図6】

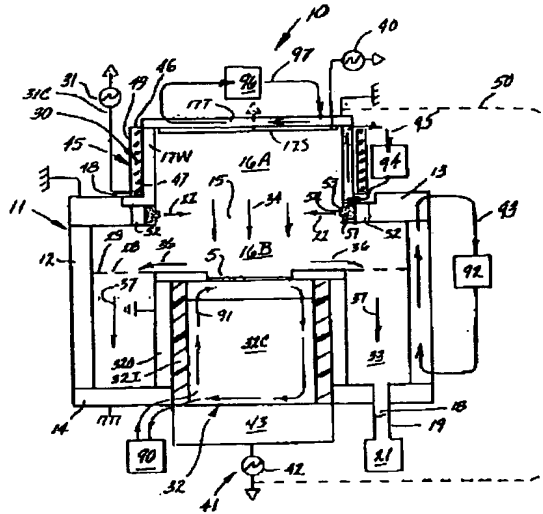
【図7】

【図8】

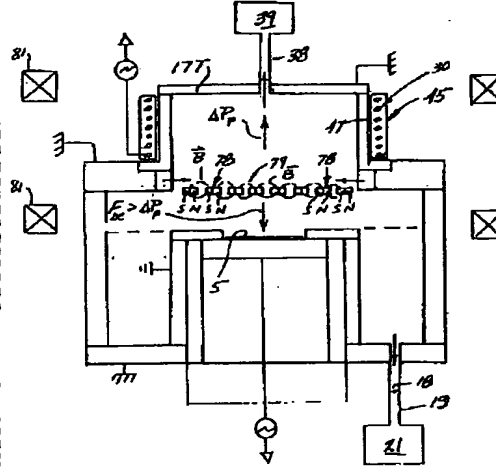
【図9】



【図1】

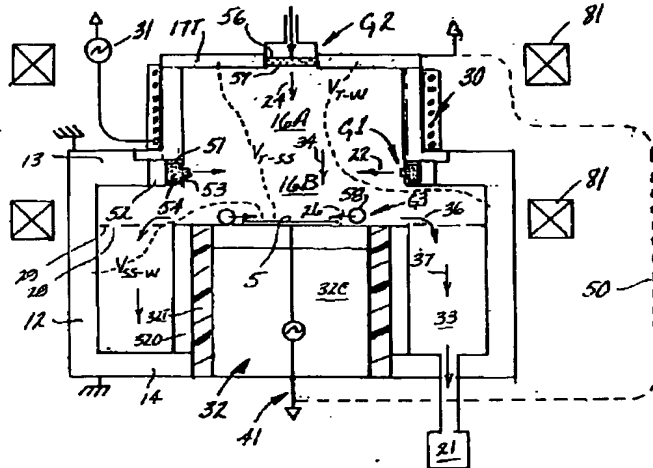


【図3】

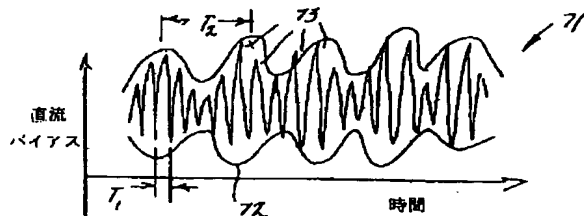


【図11】

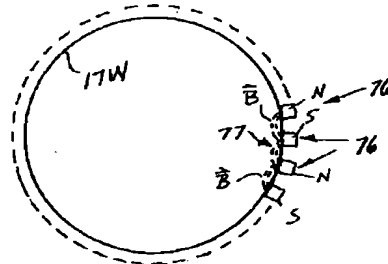
【図2】



【図12】

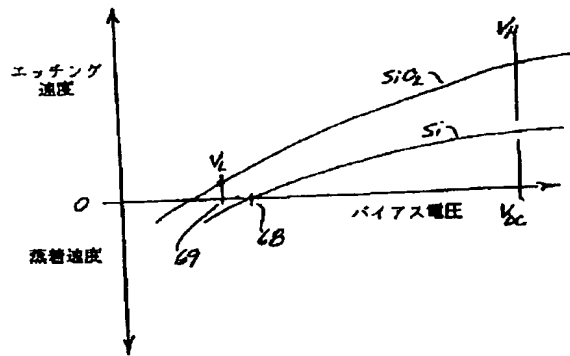


【図13】

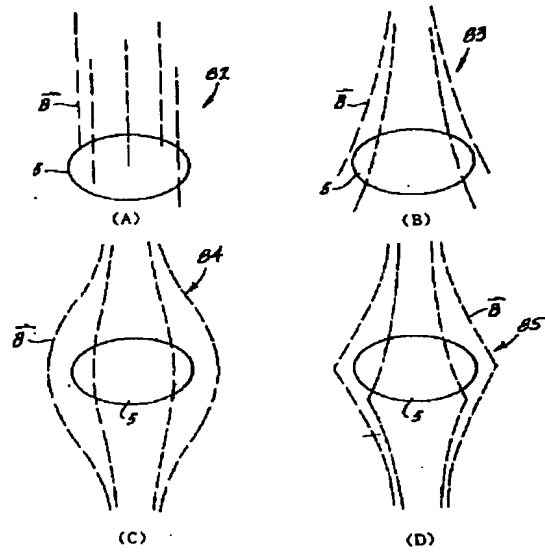


BEST AVAILABLE COPY

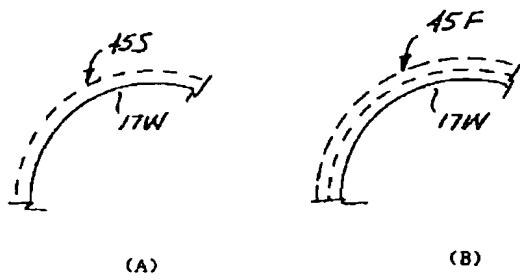
【図10】



【図14】

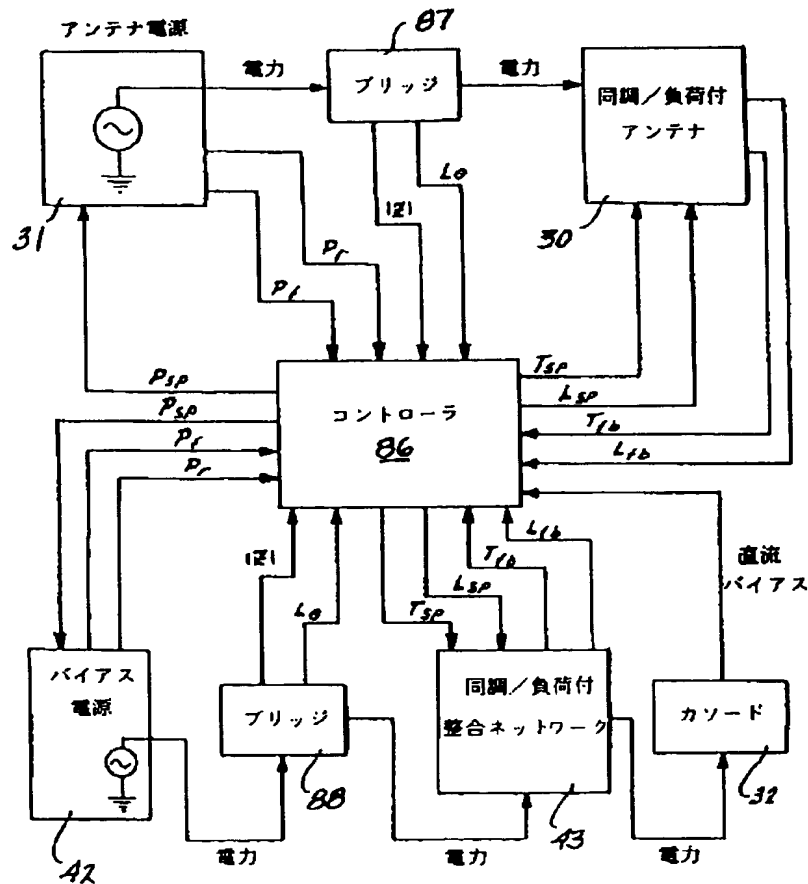


【図15】



BEST AVAILABLE COPY

【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 クレイグ エイ ローデリック  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95117 サン ホセ バインヴィュー ド  
ライヴ 776  
(72)発明者 ジョン アール トロー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95111 サン ホセ ナイツヘヴン ウェ  
イ 162  
(72)発明者 チャン ロン ヤン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95032 ロス ガトス リーロイ アベニ  
ュー 16788

(72)発明者 ジェリー ユーエン クイ ウォン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94539 フリーモント クーガー サーク  
ル 44994  
(72)発明者 ジェフリー マークス  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95129 サン ホセ シエロ ヴィスタ  
ウェイ 4730  
(72)発明者 ピーター アール ケスウィック  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94560 ニューアーク ホアキン ムリエ  
ータ アベニュー 6371エイ

BEST AVAILABLE COPY

(72)発明者 ディヴィッド ダブリュー グルーシエル  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94022 ロス アルトス ヒルズ ヴィア  
ヴァンターナ 27985  
(72)発明者 ジェイ ディー ピンソン ザ セカンド  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95120 サン ホセ クイーンズウッド  
ウェイ 6879

(72)発明者 石川 哲也  
千葉県船橋市古作町 3-14-24  
(72)発明者 ローレンス チュン ライ レイ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95014 クーパーティノ ロックウッド  
ドライブ 10236  
(72)発明者 マサト トシマ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
94087 サニーヴェイル スワロー ドラ  
イヴ 1614



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-206072

(43)Date of publication of application : 13.08.1993

(51)Int.Cl.

H01L 21/302

G23C 16/50

G23F 4/00

H01L 21/31

H05H 1/46

(21)Application number : 04-169619

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 26.06.1992

(72)Inventor : COLLINS KENNETH S  
 RODERICK CRAIG A  
 TROW JOHN R  
 YANG CHAN-LON  
 WONG JERRY YUEN-KUI  
 MARKS JEFFREY  
 KESWICK PETER R  
 GROECHEL DAVID W  
 PINSON II JAY D  
 ISHIKAWA TETSUYA  
 LEI LAWRENCE CHUNG-LAI  
 MASATO TOSHIMA

(30)Priority

Priority number : 91 722340  
 92 824856

Priority date : 27.06.1991  
 24.01.1992

Priority country : US

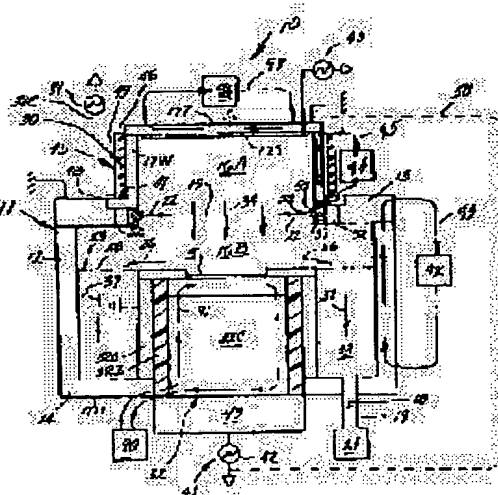
US

(54) DEVICE AND METHOD FOR PLASMA PROCESSING USING INDUCTIVE RF COUPLING

(57)Abstract:

PURPOSE: To process a sensitive device and to improve yield, without damages and without use of micro-loading.

CONSTITUTION: This is a dome-type plasma-reaction-device chamber 11, and a device 30 such as an antenna, which is driven by RF energy electromagnetically coupled in the dome of a reacting device, is used. The antenna generated a high-density low-energy plasma for etching metals, dielectric substances and semiconductors in the chamber. Auxiliary RF bias energy, which is applied on the supporting cathode of a wafer 5, controls a cathode sheath voltage and controls ion energy, regardless of the density. Various magnetic/voltage- processing improvement technologies are displayed, together with an etching process, a vapor deposition process and an etching/vapor-deposition combining process.



BEST AVAILABLE COPY